

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DOS REQUISITOS E PLANOS DE PRODUÇÃO GERADOS
POR UM SISTEMA DE
PLANEJAMENTO FINO DE PRODUÇÃO**

Autor : Carlos Vicente de Souza

Orientador : Prof. Dr. Luis Henrique Rodrigues

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre, Maio de 2000

ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABELAS	VI
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
PARTE I	
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa do Trabalho	1
1.2. Objetivos do Trabalho	2
1.3. Método	3
1.4. Estrutura do Trabalho	4
1.5. Delimitações do Trabalho	5
CAPÍTULO 2 - O PROBLEMA GERAL DO PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO	7
2.1. Introdução	7
2.2. O Sistema Hierárquico de Planejamento de Produção	8
2.3. O Problema de Planejamento Operacional da Produção	16
2.3.1. O Desenvolvimento da Teoria de Programação e as Principais Soluções	16
2.3.2. Algoritmos Voltados ao Planejamento Fino da Produção	18
PARTE II	
CAPÍTULO 3 - O PLANEJAMENTO DE MATERIAIS	22
3.1. Reposição de Materiais por Ponto de Pedido e Controle Periódico	23
3.2. Classificação ABC dos Materiais	29

3.3. Cálculo Através da Lista de Materiais	30
3.4. Cálculo de Materiais pela Estrutura de Produto	32
3.4.1. Aspectos Gerais Sobre Estruturas de Produto	32
3.4.2. Cálculo de Materiais pela Estrutura de Produto	35
3.4.3. Diferenças no Cálculo de Materiais - Estrutura de Produto X Lista de Materiais	41
CAPÍTULO 4 - O PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE	45
4.1. Técnicas de Cálculo de Capacidade	48
4.1.1. <i>Capacity Planning Using Overall Factors</i>	49
4.1.2. <i>Capacity Bills</i>	51
4.1.3. <i>Resource Profiles</i>	57
4.1.4. Correlação de Capacidade	59
4.2. Capacidade nos Sistemas MRP/MRP II	61
CAPÍTULO 5 - OS SISTEMAS DE PLANEJAMENTO FINO DA PRODUÇÃO E O CARREGAMENTO FCS	73
5.1. Configuração dos Sistemas FCS	77
5.2. Proposta de Classificação dos Sistemas FCS	80
PARTE III	
CAPÍTULO 6 - O SISTEMA DE PLANEJAMENTO FINO FACTOR	84
6.1. O Módulo AIM (<i>Analyser for Improving Manufacturing</i>)	85
6.2. O Módulo SDM (<i>Schedule Development Module</i>)	94
6.3. O Módulo SMM (<i>Schedule Management Module</i>)	95
6.4. <i>Hardware</i> e Sistemas Operacionais	96
6.5. Método de Implantação Proposto pelo Fornecedor	96
CAPÍTULO 7 - O MODELO FABRIL DE EXPERIMENTAÇÃO	100

7.1. Características do Sistema Produtivo e Condições Operacionais	100
7.1.1. Informações Sobre a Empresa	100
7.1.2. Os Produtos e o Sistema Produtivo	101
7.1.3. Detalhamento da Confeção e Vulcanização da Linha Gigante	106
7.1.4. A Programação e o Controle da Produção	109
7.2. O Modelo Virtual no <i>Software</i> FCS	111
7.2.1. Os Roteiros de Produção	114
7.2.2. Outros Dados do Modelo	117
CAPÍTULO 8 - ENSAIOS E RESULTADOS	120
8.1. Método de Condução dos Ensaios	120
8.2. Desenvolvimento de Método de Ensaio	122
8.3. Simulação do Programa de Produção	125
8.4. Observações sobre a Operação do Sistema Factor	130
8.4.1. Aspectos Gerais do Sistema FCS	130
8.4.2. Aspectos Funcionais do Sistema FCS	132
CAPÍTULO 9 - CONCLUSÃO E SUGESTÕES	138
9.1. Conclusão	138
9.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	140
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Representação Conceitual do Planejamento de Sistemas Abertos	07
Figura 02. Fluxograma do Planejamento Hierárquico da Produção	15
Figura 03. Estrutura de Produtos e Roteiros de Fabricação	20
Figura 04. Reposição de Estoques por Ponto de Pedido	23
Figura 05. Comportamento dos Estoques para Itens Fabricados	25
Figura 06. Exemplo de Curva ABC	30
Figura 07. Exemplos de Estruturas de Produto	34
Figura 08. Estrutura para o Exemplo Prático de Cálculo de Materiais	37
Figura 09. Cálculo de Materiais para <i>Time Phasing</i>	39
Figura 10. Estrutura e Cálculo de Materiais para o Produto da Tabela 02	41
Figura 11. Alocação de Ordens em Grandes <i>Buckets</i>	46
Figura 12. Programação Planejada e Real	47
Figura 13. Estrutura dos Produtos “A” e “B”	52
Figura 14. Escalonamento das Operações	58
Figura 15. <i>Layout</i> e Capacidades Horárias de Produção	60
Figura 16. Escalonamento no CRP	63
Figura 17. Comportamento Matricial nos Tempos de <i>Setup</i>	66
Figura 18. Estrutura do Produto Final	68
Figura 19. Escalonamento das Ordens por Operação	70
Figura 20. Carregamento das Máquinas	71
Figura 21. Descrição Geral de um <i>Jobstep</i> do AIM	87
Figura 22. Tela de Definição de um <i>Jobstep</i> do Tipo Operação	90
Figura 23. Relações entre os Componentes Básicos do Sistema FACTOR	94
Figura 24. Estrutura Simplificada de um Pneu	102

Figura 25. Diagrama Esquemático do <i>Layout</i> e Fluxos de Produção	104
Figura 26. Fluxograma dos Processos de Confecção e Vulcanização	107
Figura 27. Desenvolvimento de um Projeto de Simulação	121
Figura 28. Teste de <i>Batch Loads X Setup</i>	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 01.	Ordens de Fabricação Emitidas Por Controle Periódico	27
Tabela 02.	Cálculo das Necessidades Materiais pela Lista	31
Tabela 03.	Necessidades Líquidas de Acordo com a Lógica dos Sistemas MRPII	39
Tabela 04.	Requisitos de Materiais Escalonados no Tempo	40
Tabela 05.	Divergências Entre os Cálculos de Materiais	42
Tabela 06.	Planos Mestre de Produção Utilizados no Exemplo	49
Tabela 07.	O Histórico de Carregamento	50
Tabela 08.	Valor Total Agregado de Horas	50
Tabela 09.	Cálculo da Capacidade pela Técnica CPOF	51
Tabela 10.	Roteiros de Fabricação de “A” e “B”	52
Tabela 11.	Capacidade Exigida por Centro de Trabalho	53
Tabela 12.	<i>Capacity Bills</i> Detalhada	54
Tabela 13.	Capacidade pelo Método <i>Capacity Bills</i>	55
Tabela 14.	Percentuais de Carregamento	56
Tabela 15.	Capacidade pelo Método <i>Resource Profiles</i>	58
Tabela 16.	Quantidade de Moldes por Tipo de Pneu	109
Tabela 17.	Compartilhamento dos Vulcanizadores pelo Pneus	109
Tabela 18.	Roteiro de Produção da Carcaça Conformada	115
Tabela 19.	Roteiro de Produção da Vulcanização	116
Tabela 20.	Situação das Ordens de Vulcanização	126
Tabela 21.	Estoques da Carcaça H	127
Tabela 22.	Situação das Ordens de Confecção	128

RESUMO

O tema central deste trabalho é o Planejamento, Programação e Controle da Produção na indústria, com o auxílio de uma ferramenta computacional, do tipo *Finite Capacity Schedule* (FCS). No Brasil, essa categoria de *software* é denominada, genericamente, por Sistemas de Planejamento Fino de Produção ou de Capacidade Finita. Alinhado com as tendências mundiais e a vantagem de menores investimentos em *hardware*, o sistema escolhido é compatível com a operação em microcomputadores.

Na primeira parte do trabalho, o assunto é tratado de forma geral, quando se pretende caracterizar amplamente o problema da programação da produção, as dificuldades na sua execução, as soluções existentes e suas limitações. A segunda parte do trabalho discute, detalhadamente, os métodos tradicionais de planejamento de materiais e capacidade. A revisão bibliográfica se encerra com uma apresentação dos sistemas FCS e sua classificação.

A terceira parte trata da descrição, ensaios e avaliação da programação gerada por um *software* de Planejamento Fino de Produção determinístico, baseado na lógica de simulação computacional com regras de decisão. Embora a avaliação esteja limitada ao *software* utilizado, a análise ainda vai procurar identificar as diferenças fundamentais entre os resultados da programação de Capacidade Finita e a convencional, representada pelos sistemas da categoria MRPII ou Planejamento dos Recursos de Manufatura (*Manufacturing Resources Planning*). As lógicas dos sistemas MRPII e de Capacidade Finita são discutidas na revisão bibliográfica, enquanto que, para o *software* empregado no trabalho, ainda há um capítulo específico tratando da sua descrição, fundamentos, *software house*, *hardware* necessário e outras informações relevantes.

Os ensaios serão implementados com o objetivo de analisar o sistema FCS como ferramenta de planejamento e de programação de produção. No caso, uma fração de um processo produtivo será modelada no sistema, através do qual serão gerados planos de produção que serão confrontados com a programação usual e com o comportamento real dos recursos envolvidos. Os ensaios serão realizados numa das unidades pertencentes a uma empresa transnacional de grande porte, que atua no ramo de pneumáticos.

Por último, são apresentadas as conclusões gerais, recomendações na aplicação do sistema estudado e sugestões para futuras pesquisas relacionadas com o assunto.

ABSTRACT

The main subject of this essay is the industry Production Planning, Scheduling and Control, helped by a computing tool of the Finite Capacity Schedule (FCS) type. In Brazil, this category of software is generically called Finite Capacity. The chosen system, which keeps itself up with the tendencies and has the advantage of needing less investments in hardware, is compatible with microcomputers' operation.

In the first part of the essay, the subject is developed in general terms, when the main objective is to thoroughly characterize the problem of the production scheduling, the difficulties in executing it, the available solutions and its limitations. Then, in the second part of the essay, the traditional methods of materials and capacity planning is thoroughly discussed. The bibliographic review is concluded by a presentation of the FCS systems and its classification.

The third part is related to the description, the experiment and the valuation of the schedule developed by a software of deterministic Finite Capacity, based on the logic of computing simulation with decision rules. Although the valuation is limited to the software applied, the analysis will try to identify the fundamental differences between the Finite Capacity schedule results and the conventional one, represented by the systems of the MRPII category or Manufacturing Resources Planning. MRPII systems and Finite Capacity logic are examined in the bibliographic review while there is a particular chapter for the software used in the experiment concerning its description, bases, software house, required hardware and other important information.

The experiment will be developed in order to analyse the FCS system as a planning and scheduling tool. In this case, a fraction of a productive process will be modeled in the system and through this system, production plans will be generated and compared to the usual schedule and to the real behavior of the applied resources. the experiments will take place in a division of a large transnational enterprise of the pneumatic sector.

Finally, the general conclusions are presented together with recommendations on how to apply the studied system and suggestions concerning future researches related to the subject.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa do Trabalho

A globalização da economia e a chegada da era da competitividade, entre outros reflexos nos sistemas produtivos, atingiram diretamente a área de Planejamento, Programação e Controle da Produção. Como consequência, esse fenômeno impôs maiores exigências quanto à flexibilidade, confiabilidade, redução de custos, prazos mais rígidos de entrega, etc.

Se pelo lado da demanda as exigências aumentaram, tecnologicamente o problema de programação de produção no chão-de-fábrica permanece sem uma solução definitiva. Os modelos teóricos são complexos e apresentam dificuldade em representar realisticamente o ambiente industrial e suas interrelações devido ao volume de variáveis e às combinações exponenciais decorrentes. Os *software* existentes refletem estas dificuldades e, muitas vezes, são limitados pela capacidade de *hardware* disponível.

Por outro lado, a realidade das indústrias brasileiras demonstra que, em geral, os recursos humanos envolvidos nas ações de planejamento, programação e controle da produção não possuem um conhecimento mais amplo e profundo sobre o assunto. Esse horizonte restrito, do ponto-de-vista conceitual, dificulta o desenvolvimento de soluções mais robustas e adequadas às exigências do mercado e da própria empresa, acontecendo, por consequência, uma grande concentração de esforços no gerenciamento do problema.

Da mesma forma, a inexistência de um conhecimento mais apurado sobre a questão dificulta à análise e seleção de ferramentas computacionais voltadas à solução do problema. As alternativas variam entre tipos de *software* e aplicações mais indicadas, recursos específicos, porte do sistema, *hardware* necessário, preço, etc. Aliás, convém registrar que, atualmente, a complexidade do problema exclui totalmente a possibilidade de execução manual desse processo com obtenção de resultados, no mínimo, aceitáveis. O que se verifica na prática é que as empresas encontram várias opções de *software* comerciais no mercado e têm dificuldade em identificar qual a solução mais adequada às suas necessidades. Os reflexos de desse cenário são: escolha de soluções não adequadas ao sistema produtivo, frustração com o que a ferramenta realmente pode oferecer durante a utilização, gastos significativos com pouco ou nenhum retorno, insucesso parcial ou total na implantação dos sistemas de gestão e, principalmente, um

problema crucial não resolvido.

Existem aquelas empresas que decidem assumir o desenvolvimento “em casa” de uma solução própria. Essa opção traz consigo todos os problemas apresentados anteriormente e mais alguns. É difícil imaginar de que maneira essa ferramenta poderá ter um desempenho próximo a um bom *software* comercial, desenvolvido por especialistas e em constante aperfeiçoamento, resultante das exigências surgidas em diversas aplicações práticas. Também, o desenvolvimento de sistemas não é o objetivo de uma empresa industrial, o que caracteriza um desvio da sua atividade-fim. Por outro lado, os produtos disponíveis no mercado normalmente exigem adaptações e customizações para a operação no ambiente específico da empresa, as quais podem ou não ser terceirizadas sem maiores problemas.

O que se configura como um cenário de dificuldades é, na verdade, uma oportunidade de crescimento e a proposta de contribuição deste trabalho. Em primeiro lugar, organizar sistematicamente conhecimentos e procedimentos usuais que conduzam a uma melhor compreensão do problema geral de planejamento, programação e controle da produção. Depois de estabelecida essa base conceitual, indispensável à evolução do raciocínio, realizar análises sobre a aplicação de um *software* comercial de programação de produção do tipo capacidade finita.

Embora sistemas do tipo *Finite Capacity Schedule* já estejam disponíveis no mercado há bastante tempo, o número de aplicações práticas no Brasil é relativamente pequeno e esse tipo de solução é pouco conhecida. As decisões sobre a utilização de sistemas FCS encontram resistências também pelo alto custo associado, que, somado à falta de informação, acabam por inibir as decisões de investimento nestas ferramentas.

A expectativa é que este trabalho possa contribuir na difusão dessa tecnologia e fornecer, aos especialistas na área, informações relevantes que permitam melhorar o processo de análise e tomada de decisão sobre aplicações de sistemas informatizados de planejamento, programação e controle de produção.

1.2. Objetivos do Trabalho

O objetivo central deste trabalho é a execução de ensaios com um *software* voltado à programação de produção pertencente à classe dos sistemas de Planejamento de Capacidade Finita. O produto, utilizado neste trabalho, foi gentilmente cedido pela PRITSKER Corp. dos

Estados Unidos para fins acadêmicos. Foi escolhido, exclusivamente, pela questão de disponibilidade.

Pretende-se avaliar os seguintes aspectos:

- os requisitos exigidos para a operação;
- os recursos disponibilizados pela ferramenta;
- a validade dos programas gerados;
- a condição de emprego do produto no planejamento de produção;
- a lógica geral de operação do *software*.

Como objetivos específicos, é possível citar:

- ordenar e sistematizar conhecimentos sobre o tema Planejamento, Programação e Controle da Produção na indústria;
- caracterizar bem o problema de planejamento e programação, apontando as principais etapas e os aspectos críticos em cada uma delas;
- fazer algumas inferências sobre a utilização integrada de sistemas do tipo MRPII e FCS;
- apresentar conclusões e sugestões úteis no emprego de sistemas FCS;
- difundir a tecnologia de Programação de Capacidade Finita.

1.3. Método

O método estabelecido para o desenvolvimento deste trabalho é composto de cinco fases distintas. Sua estrutura parte uma abordagem abrangente do problema de planejamento, programação e controle da produção e, gradativamente, vai focalizando no estudo da programação de capacidade finita, até centrar nos ensaios que serão realizados com a ferramenta disponível.

A primeira fase constitui a pesquisa bibliográfica que visa reunir informações da literatura disponível sobre o assunto. Os primeiros capítulos caracterizam o problema geral de planejamento, programação e controle da produção e as soluções tradicionais até o limite dos sistemas de gestão do tipo Planejamento dos Recursos de Manufatura. Para completar a visão necessária, a revisão bibliográfica termina com a sistematização de informações sobre os

sistemas de programação de Capacidade Finita.

A segunda fase consiste no estudo da ferramenta FCS denominada FACTOR. O *software* foi instalado em um microcomputador do tipo PC sob o sistema operacional da IBM, OS 2. A partir desse momento, o sistema foi estudado, simultaneamente, através dos seus manuais de operação e de testes no computador. Individualmente, todos os seus principais componentes e dispositivos foram testados e analisados. A descrição detalhada do sistema só foi produzida após essa fase.

Após o estudo da ferramenta, a terceira fase consiste na seleção do sistema produtivo real a ser modelado e no desenvolvimento do modelo virtual em escala piloto. Após compreender a lógica de operação do sistema FACTOR, o trabalho foi conduzido de acordo com os passos estabelecidos por Law & Kelton (1991) para um estudo de simulação.

A quarta fase compreende os ensaios propriamente ditos. Programas de produção foram inseridos no modelo virtual e os resultados comparados com a programação gerada manualmente e com o comportamento do sistema real. Diversas conclusões foram obtidas tanto durante a construção do modelo como nos ensaios.

Finalmente, a quinta e última fase formaliza observações e conclusões sobre os resultados obtidos com a ferramenta. Também são emitidas sugestões para trabalhos futuros.

1.4. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em três grandes divisões que totalizam nove capítulos, elaborados e dispostos com a intenção de inserir e/ou posicionar o leitor interessado no assunto, de formar uma base de conhecimentos e aprofundar gradativamente no assunto principal. Os conteúdos das três partes e seus respectivos capítulos, serão apresentados, de forma resumida, logo abaixo.

A primeira parte visa a introdução ao tema pesquisado e é composta dos dois primeiros capítulos. O primeiro capítulo trata das disposições iniciais a respeito do trabalho, sua estrutura e as delimitações, apresentando as justificativas para o estudo, seus objetivos e método de trabalho. O Problema Geral do Planejamento de Produção é o assunto do segundo capítulo. A idéia consiste em caracterizar e discutir o problema do planejamento, programação e controle da produção, abordando alguns aspectos relativos à configuração do chão-de-fábrica e de transformação dos produtos. São apresentados os métodos gerais de solução do problema com

o objetivo de informar e situar o leitor tanto no tema como no contexto geral do trabalho.

A segunda parte do trabalho busca o aprofundamento da revisão bibliográfica já iniciada no capítulo 2, O Problema Geral do Planejamento da Produção. Os capítulos terceiro e quarto tratam do planejamento de materiais e de capacidade, respectivamente. O terceiro capítulo discute os métodos usuais de cálculo de materiais, acrescidos de comentários sobre sua aplicação, proporcionando ao leitor um panorama geral sobre o cálculo das necessidades de materiais. Já o quarto capítulo apresenta diversas técnicas que determinam a capacidade necessária para o atendimento dos planos de materiais, gerados anteriormente. Ambos os capítulos enfocam as soluções tradicionais para o problema do Planejamento e Programação da Produção. Avançando no assunto, o quinto capítulo completa a segunda grande divisão deste trabalho, abordando especificamente o planejamento de capacidade finita. Apresenta o conceito, propostas de classificação, configurações usuais e lógicas de operação que suportam os diversos sistemas do gênero.

A parte final da dissertação compreende os capítulos sexto ao nono. O sexto capítulo realiza um apanhado geral a respeito do sistema utilizado no trabalho, abordando aspectos como: descrição do *software*, módulos principais, generalidades sobre a *softwarehouse* que desenvolveu o produto, *hardware* necessário, ambiente operacional, etc. Além das informações gerais, acima citadas, esse capítulo fornece noções operacionais do sistema, dos recursos de modelagem, programação e relatórios standard. Na sequência, o sétimo capítulo é dedicado à descrição do sistema fabril, dos produtos manufaturados e do modelo virtual desenvolvido. Em relação ao sistema produtivo, apresenta informações sobre o *layout*, produtos, equipamentos, roteiros e outras informações de interesse. A descrição do modelo computacional fornece uma visão geral de como o chão-de-fábrica foi modelado, dos recursos disponíveis no sistema, das lógicas de modelagem e de operação do *software*. O oitavo capítulo descreve os ensaios realizados e os resultados obtidos nas situações de operação voltadas à programação e ao planejamento de produção. Durante essa fase do trabalho, os programas de produção serão gerados e comparados com o comportamento real do sistema produtivo e a programação convencional. A etapa final do trabalho, disposta no capítulo nono, trata das conclusões finais, sugestões quanto a aplicações de sistemas de capacidade finita e trabalhos futuros.

1.5. Delimitações do Trabalho

Como não poderia deixar de ser, o estudo apresentado possui um escopo específico com

abrangência restrita. O registro desses limites é indispensável tanto para que se assegure a utilidade prática deste trabalho, como para sua preservação técnica e acadêmica. As delimitações mais importantes são as seguintes:

a) como será evidenciado na revisão bibliográfica, o problema geral do planejamento, programação e controle da produção é muito amplo e depende, entre outros aspectos, da estrutura do sistema produtivo e do tipo de produto envolvido. Este estudo está direcionado para o contexto específico de estrutura produtiva tendendo ao *Just-in-Case* e do tipo *jobshop*, o que, por um lado, limita o trabalho, mas, por outro, garante sua utilidade por ser uma situação usualmente encontrada como forma de organização de empresas industriais;

b) os ensaios são realizados em apenas uma fração do sistema produtivo, reduzindo a complexidade do problema. Fatores diversos que interferem nos processos modelados (confeção e vulcanização da carcaça), foram deliberadamente isolados, como por exemplo: problemas de sincronização dos componentes necessários à confecção das carcaças, possíveis gargalos de produção, etc. Tal procedimento teve como objetivo adequar o tamanho do modelo ao escopo geral do trabalho;

c) nas primeiras etapas do processo produtivo a configuração é bastante diversa, com equipamentos para produção em escala que produzem componentes para todas as linhas de pneus. Portanto, existem outras lógicas de operação, dentro do mesmo processo produtivo, onde não foi realizado qualquer tipo de experimentação;

d) os produtos e os respectivos processos de fabricação também representam um caso particular entre os vários existentes na empresa. O próprio contexto da empresa onde foi desenvolvido o trabalho também representa um caso particular;

e) os ensaios foram realizados com apenas um *software*, baseado na lógica de planejamento de capacidade finita a partir de simulação computacional com regras de decisão. Portanto, as conclusões obtidas são fortemente dependentes e não podem ser generalizadas indiscriminadamente;

f) existem outras soluções ou linhas de soluções para o problema mas não são objeto deste trabalho, como por exemplo: utilização de sistema do tipo Kanban, sistemas baseados na Tecnologia de Produção Otimizada (OPT), etc;

g) há um interesse bem determinado em trabalhar apenas com ferramentas computacionais disponíveis no mercado e que sejam compatíveis com microcomputadores.

CAPÍTULO 2

O PROBLEMA GERAL DO PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO

2.1. Introdução

O planejamento de produção está estreitamente ligado à alocação dos recursos produtivos disponíveis ao longo do tempo. No caso de empresas industriais, o objetivo é realizar alguma transformação física que agregue valor ao produto final sob o ponto-de-vista do cliente. Em síntese, a essência da questão está na escassez dos recursos e no seu gerenciamento eficaz, o que, de outra forma, tornaria o problema irrelevante.

Segundo Walter (1993) o planejamento gera, em função do estado atual do sistema produtivo e de suas entradas previsíveis, uma série de “comandos” com a intenção de que este atinja um estado futuro desejado. Dado que os sistemas produtivos são do tipo aberto, sujeitos à perturbações ou entradas não previsíveis, a função controle se faz necessária para estabelecer a realimentação do planejamento. Em outras palavras, trata-se do gerenciamento do sistema produtivo, sendo que essa visão pode ser facilmente estendida para a organização como um todo. A Figura 01, abaixo, é uma representação do planejamento aplicado aos sistemas abertos.

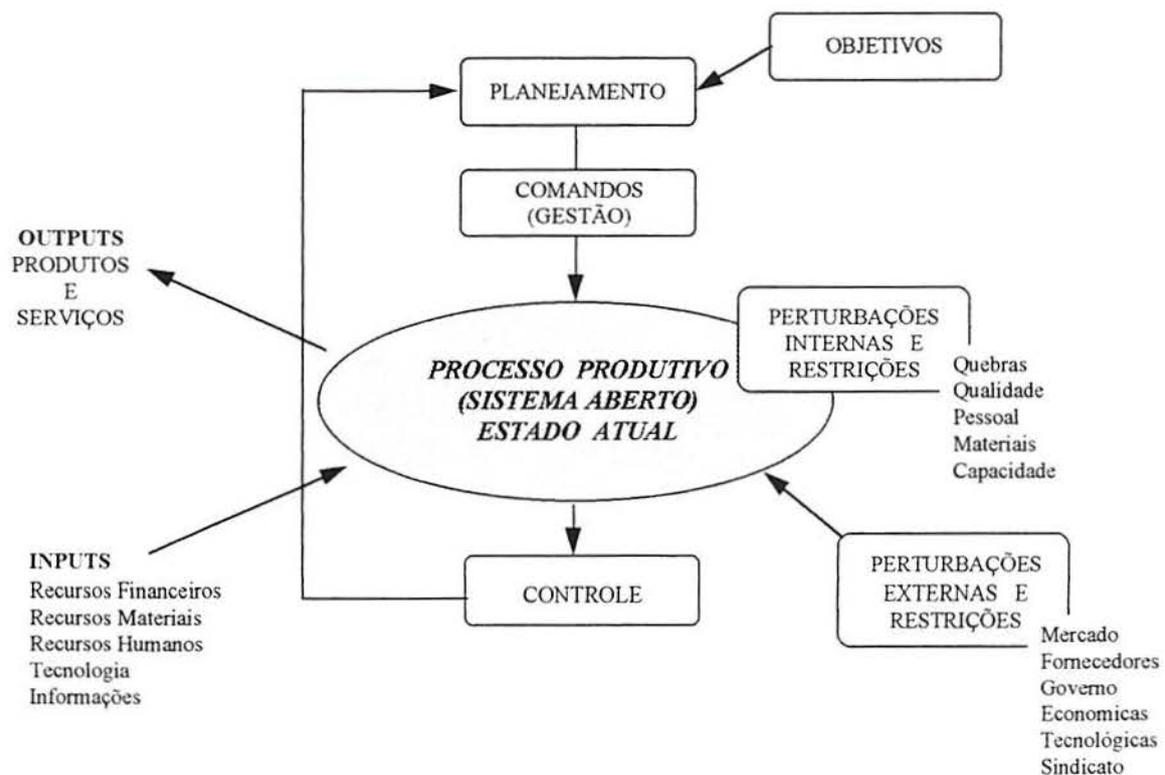


Figura 01. Representação Conceitual do Planejamento de Sistemas Abertos

Fonte: Adaptado de Walter (1993)

A importância do planejamento da produção é inerente à própria organização humana. A partir da Revolução Industrial, as organizações cresceram em tamanho e complexidade, passando por várias fases: a da produção em massa, a da produtividade, a da qualidade e, finalmente, chegando ao atual estágio denominado a era da competitividade. As exigências do mercado globalizado e altamente competitivo interferem diretamente no problema de planejamento da produção, onde são exigidos prazos reduzidos de entrega, flexibilidade, qualidade intrínseca ao produto, confiabilidade, custos, suporte ao produto pós-venda, etc.

O planejamento de produção é constituído por uma série de decisões a serem tomadas ao longo do tempo, em vários níveis do processo de planejamento (longo, médio e curto prazos). Os requisitos e os dados de saída diferem de acordo com cada uma das etapas e características dos sistemas produtivos. De um modo geral, essas decisões são tomadas de forma seqüencial.

2.2. O Sistema Hierárquico de Planejamento de Produção

A complexidade dos sistemas produtivos determina uma grande quantidade de variáveis a serem controladas, tornando o planejamento uma tarefa difícil. Essas variáveis representam fenômenos relativos ao comportamento do sistema ao longo do tempo e são bastante diferenciadas, tratando de aspectos isolados mas interligados. Como exemplo temos: as capacidades da fábrica, linhas de produção e equipamentos isolados, os tempos de preparação, os lotes de produção, as filas que se formam em cada etapa do processo, os diversos roteiros de fabricação, a mão-de-obra disponível, a demanda, etc. Observando-se as variáveis citadas, é fácil compreender porque cada uma delas representa fenômenos distintos mas intimamente relacionados com o desempenho global da organização.

O planejamento de produção e as decisões, estruturados de forma hierárquica, são usualmente empregados para gerenciar o problema. Tsubone et al. (1991) faz menção aos desdobramentos do planejamento de produção desde o longo prazo (LP) até o planejamento detalhado no curto prazo. Em geral, as atividades de planejamento de produção são desenvolvidas em três etapas distintas, partindo da visão estratégica da empresa estabelecida com base na análise do sistema empresa/ambiente e pelo estabelecimento dos objetivos de longo prazo para a organização. Na seqüência do processo, as diretrizes estratégicas são desdobradas em metas de médio e curto prazos entre os diversos níveis gerenciais da organização. Na medida

em que os horizontes de planejamento vão se reduzindo, o plano é dividido em elementos cada vez menores e mais precisos.

O número de variáveis e a complexidade do problema crescem rapidamente à medida em que o período de planejamento diminui, no limite, executando a programação detalhada de produção por equipamento ou centro produtivo. Por outro lado, à medida em que os horizontes se ampliam, as decisões são tomadas a partir de dados agregados menos precisos e detalhados, sendo o seu tratamento mais fácil. A dificuldade no longo prazo reside no inevitável grau de risco e incerteza das informações, embora exista todo um ferramental técnico e matemático disponível para o problema.

O planejamento estratégico trabalha com um horizonte de tempo que varia geralmente entre três e cinco anos, podendo chegar, no limite inferior, a um ano em ambientes muito instáveis. As principais variáveis de entrada, no nível mais elevado do processo de planejamento de produção, são por exemplo: previsões de demandas de longo prazo e objetivos globais de vendas, fatores econômicos previstos, evolução tecnológica, linhas de financiamento, custos globais, aspectos políticos e sociais, crenças e cultura da empresa, etc. Os valores médios dessas variáveis (as quantificáveis) podem ser previstos com razoável precisão, desde que as perturbações que vão interferir no sistema não assumam caráter excepcional. As saídas mais comuns nessa etapa do planejamento são: produções previstas agregadas, necessidades de investimentos de grande porte, novos produtos e mercados, etc, as quais constituem os parâmetros ou *inputs* para a etapa seguinte. No longo prazo, o planejamento de capacidade trata de objetivos agregados de produção, como produções anuais em valores ou unidades acumuladas de produtos como: toneladas de laminados, total de bombas hidráulicas, automóveis, etc, a serem produzidas no período. É importante salientar que tipos bem distintos de produtos são agrupados em um valor único. Os acréscimos na capacidade produtiva correspondem a investimentos elevados, estimados com base nas previsões acumuladas de produção, e correspondem, por sua vez, a grandes incrementos de capacidade. Nessa esfera do planejamento de produção, as decisões sobre ampliação de capacidade equivalem a instalação de novas linhas de produção ou mesmo construção de novas unidades fabris. Pelas suas características, quando colocadas em prática, essas decisões são de difícil reversão.

A execução do planejamento estratégico não enfrenta maiores restrições tecnológicas no aspecto analítico, ou seja, há disponibilidade de ferramentas computacionais ou manuais para o auxílio à tomada de decisão. Também, considerando-se as soluções existentes, não encontramos

deficiências em termos de *hardware*. Reconhece-se, entretanto, o problema geral do comportamento estocástico dos dados acrescido de graus variados de risco e incerteza.

O planejamento tático é a etapa seguinte e intermediária no processo de planejamento de produção, o qual trata com períodos considerados como de médio prazo entre seis meses a um ano. Assim como no planejamento estratégico, esses parâmetros de tempo são as referências mais comuns, podendo atingir, em situações extremas, um mínimo de até três meses e um máximo de dois anos. O que poderíamos considerar um padrão bem característico seria um planejamento estratégico de cinco anos com desdobramentos anuais na fase denominada de tático. Uma característica relevante do planejamento tático é, em períodos mais curtos, já trabalhar com pedidos “firmes” ou em “carteira”, onde os clientes, produtos, quantidades e prazos já são perfeitamente conhecidos. Em contrapartida, porém, em intervalos mais longos, as informações de demanda ainda serão estimativas, embora mais precisas e detalhadas. Os *inputs* usuais utilizados no planejamento tático são os objetivos e informações oriundas do plano estratégico, desdobrados, por exemplo, em metas anuais distribuídas mensalmente, mais os pedidos em carteira existentes. Subentende-se que os planos de produção serão elaborados com base em previsões de demanda e nos pedidos já conhecidos. As saídas esperadas, nesta etapa são: previsões de compras de médio prazo, planos de estoques, níveis de mão-de-obra, alterações menores de capacidade, plano geral de horas extraordinárias e outras. As avaliações de capacidade ainda são consideradas do tipo *rough cut* ou brutas, realizadas em bases agregadas e com técnicas que fornecem apenas aproximações. Considerando-se ainda o período médio de um ano que compreende o planejamento tático, somente serão possíveis decisões sobre alterações mínimas de capacidade, tais como compra de equipamentos, operação de novos turnos de produção e outras.

A seqüência lógica de desdobramento do planejamento global é o estabelecimento de metas anuais, de acordo com o plano estratégico, subdividas nas respectivas produções mensais desejadas e, finalmente, a determinação dos planos semanais que normalmente equivalem ao chamado Plano Mestre de Produção (PMP). As informações que alimentam o PMP variam entre baseadas em pedidos firmes e estimativas, o que sugere a necessidade de reavaliação em espaços curtos de tempo. Em condições normais, os planos de produção são reavaliados semanalmente, embora possuam um horizonte de planejamento de várias semanas. Nesse período a semana que passou é excluída do processo, enquanto outra é acrescida no topo da fila. O número de semanas

à frente consideradas varia de acordo com as condições da empresa, como por exemplo: 4, 12, 24, etc.

O Plano Mestre de Produção é o elemento mais representativo e importante do planejamento tático porque será a base para o detalhamento da programação de produção. Em linhas gerais, o Plano Mestre de Produção define exatamente **o que** e **quanto** produzir em relação aos produtos finais, considerando o fator temporal ou **quando** estes devem estar concluídos. É calculado, basicamente, a partir das necessidades brutas de vendas (previsões + pedidos) deduzidos os estoques disponíveis e as ordens de fabricação abertas não destinadas a alguma outra demanda anterior, acrescidas dos estoques finais desejados. Outras variáveis são consideradas na elaboração do PMP: disponibilidade de matérias primas, possibilidade de greves, absenteísmo, recursos financeiros, capacidade produtiva, etc. Essa última geralmente é fruto de uma **avaliação preliminar** do plano de produção quanto a existência ou não de capacidade produtiva para atender à demanda estabelecida. É importante esclarecer que essa avaliação ainda é do tipo bruta, ou não muito precisa, trabalhando com dados de produção e capacidade agregados em períodos de tempo equivalentes a uma semana (usual). O Plano Mestre de Produção definitivo, pelo menos em tese, já deveria ter os conflitos preliminares de capacidade resolvidos antes da sua implementação. Entendam--se os conflitos de capacidade como as sobrecargas de trabalho ou *overloads* em um ou mais recursos em determinados períodos de tempo.

O Plano Mestre de Produção, como foi mencionado anteriormente, será transferido à etapa de planejamento operacional, onde servirá de base para o cálculo das necessidades detalhadas de materiais e componentes. Finalmente, a partir das necessidades de materiais (**o que** e **quanto** produzir) será possível a realização de uma avaliação bem mais precisa quanto à capacidade disponível para atender o plano de produção desejado, até o limite de cada equipamento ou centro de trabalho definido. A essa altura é necessário determinar, com maior precisão, **onde** produzir (equipamentos ou centros de trabalhos envolvidos) e **quando** as respectivas etapas serão efetivadas. A frase anterior sugere a necessidade de coordenação das ações de transformação no piso de fábrica, comumente chamada de sincronização da produção.

O plano operacional determinará o “projeto” do sequenciamento e carregamento de trabalho no chão-de-fábrica. Para tal, será necessário dispor e manusear uma quantidade significativamente maior de dados.

As atividades e decisões no nível inferior da hierarquia do planejamento de produção dizem respeito à programação detalhada dos centros de trabalho no chão-de-fábrica. Essa tarefa exige a consideração de uma massa significativa de dados, na sua maioria estocásticos, onde as flutuações estatísticas combinadas com os eventos dependentes agravam o problema. Também, a acuracidade e a disponibilidade das informações necessárias passam a constituir fatores críticos no processo. O horizonte de planejamento é curto, variando entre um dia até uma ou duas semanas. As principais variáveis ou informações empregadas no planejamento operacional são: o Plano Mestre de Produção com seu *mix* de produção e respectivas quantidades, a relação dos centros de trabalho e suas capacidades, a disponibilidade de matrizes e dispositivos, a mão-de-obra necessária, as estruturas de produto, os itens alternativos na estrutura de produtos, os roteiros de produção (compreendendo o roteiro propriamente dito, os tempos de processamento, de preparação e ferramentas e dispositivos utilizados), os roteiros alternativos, os tamanhos de lotes, os inventários, a situação das ordens em aberto, os coeficientes para atender a geração de sucata ou rendimentos de processo, o calendário de produção, os horários ou turnos de trabalho, etc.

As lógicas para a execução da programação são muitas vezes conflitantes, cabendo ao planejador decidir quanto aos objetivos a serem atingidos. Alguns exemplos quanto às lógicas que podem orientar a programação no chão-de-fábrica são: minimização dos tempos gastos em preparação, redução de estoques, priorização ao atendimento das datas de entrega, maximização na utilização dos recursos e redução de *lead times*. O atendimento aos objetivos mencionados está intimamente ligado à seqüência através da qual um conjunto de ordens será executado. Por exemplo, determinada seqüência pode priorizar o atendimento aos prazos de entrega, mas aumentar o volume de materiais em processo dentro do sistema produtivo ou, ainda, aumentar o número de preparações necessárias, reduzindo a eficiência na utilização dos equipamentos. Portanto, existe mais um aspecto importante a ser considerado durante a execução do planejamento operacional: o sequenciamento das ordens de produção.

O sequenciamento da produção está diretamente ligado à idéia de se determinar, em uma máquina ou conjunto de máquinas, qual a melhor seqüência de execução para um dado conjunto de ordens de fabricação, visando otimizar algum indicador de desempenho.

A sincronização da produção é um conceito diferente, mas que deve ser considerado concomitantemente à determinação do sequenciamento mais adequado. A idéia da sincronização, como o próprio nome diz, está relacionada com a operação sincronizada dos

centros de trabalho, onde um serviço concluído em determinado centro é transferido imediatamente para o seguinte, com um mínimo de perdas de tempo em filas (estoques) e de paradas por esperas originadas por outros problemas. Trata-se do “encaixe” perfeito entre a conclusão das tarefas anteriores e o início das posteriores. O problema da sincronização é especialmente complexo em indústrias onde há a fabricação de componentes buscando uma ou mais montagens intermediárias e/ou finais.

A sincronização e o sequenciamento mais adequados são objetivos a serem alcançados durante o planejamento operacional ou, mais especificamente, durante a execução da programação de chão-de-fábrica. Ambas serão analisadas adiante, sob o enfoque de operação dos *software* do tipo *Manufacturing Resources Planning* (MRPII) e de Planejamento Fino de Produção.

Ao contrário das etapas anteriores, o planejamento detalhado de produção enfrenta dificuldades técnicas acentuadas de execução devido ao volume de variáveis envolvidas e às combinações exponenciais práticas decorrentes. Os modelos analíticos são complexos e apresentam dificuldade em representar, de forma realista, o ambiente industrial e suas interrelações. Os *software* existentes refletem essa deficiência, chegando muitas vezes até o limite da capacidade de *hardware* disponível.

Na maioria das fábricas, a programação detalhada do chão-de-fábrica, aqui compreendida como o sequenciamento e a sincronização da produção e, conseqüentemente, o carregamento das máquinas, é realizada por gerentes, chefias ou mesmo delegada a níveis inferiores como mestres e chefes de equipe. De uma forma geral, as decisões são tomadas com base na experiência prática e na intuição, sem a utilização de um método mais científico ou suportada por alguma ferramenta de apoio computacional. Assim, analisando-se o processo global de planejamento da produção, conclui-se que é comum haver uma ruptura no desdobramento dos objetivos estratégicos estabelecidos quando se trata da programação detalhada dos centros de trabalho no chão-de-fábrica. O problema tem origem na inexistência de ferramentas ou instrumentos que orientem as ações locais, implementadas na fábrica, na mesma direção traçada pelo plano estratégico. O processo de programação detalhada da produção no chão-de-fábrica, acima descrito, também é chamado de Planejamento Fino da Produção (PFP).

Segundo Maccarthy e Liu (1993), existe um distanciamento entre a teoria e a prática na programação de produção (executada no plano operacional), devido a dois fatores básicos:

a) a teoria e os métodos de solução são desconhecidos ou não adequadamente compreendidos pelos profissionais da área, o que caracteriza um problema de educação e treinamento;

b) as situações ideais (as condições de contorno) assumidas pelos estudos e modelos teóricos não são suficientemente próximos das situações encontradas na prática, o que implica na necessidade de um esforço, por parte dos pesquisadores, na solução de problemas mais práticos.

A Figura 2 representa o fluxo do planejamento hierárquico em três níveis, conforme descrito anteriormente. Observando-se as setas da Figura 2, verifica-se que o problema do planejamento de produção é dinâmico e necessita de constante realimentação, o que incrementa a complexidade do processo. Perturbações significativas diversas, que interferem no sistema, vão exigir a reprogramação da produção como por exemplo: cancelamento de ordens, adição de novas ordens urgentes, quebras de máquinas, problemas com fornecimento de materiais, entre outras. Rodrigues (1994) comenta as duas abordagens básicas utilizadas no ajuste da programação: *Schedule Regeneration* e *Net Change Approach*. Embora os termos *Schedule Regeneration* e *Net Change Approach* sejam usuais na terminologia dos sistemas MRPII, em tese, o raciocínio que encerra cada um dos procedimentos é certamente anterior a esses *software*, os quais permitiram grande agilidade e precisão na implementação dos mesmos.

O procedimento denominado *Schedule Regeneration* cria uma programação inteiramente nova de produção, excluindo todas as ordens planejadas anteriormente mas **não** liberadas para o chão-de-fábrica ou compras. Por sua vez, as ordens liberadas são consideradas como recebimentos programados (não canceláveis) e disponíveis nas respectivas datas previstas. O resultado é a geração de um novo conjunto de ordens de acordo com as novas condições. Essa abordagem propicia melhores resultados pois considera todo o novo cenário, permitindo o melhor aproveitamento das ordens remanescentes da programação anterior e a emissão mais adequada de novas, com vistas a atender ao novo Plano Mestre de Produção. Por outro lado, a aplicação do método pode ser complicada, ou até inviável, em processos produtivos complexos com extensas bases de dados devido ao esforço necessário e ao tempo disponível. Essa viabilidade de execução do *Schedule Regeneration* pode estar limitada tanto na capacidade de execução manual como em termos de *hardware*.

A abordagem *Net Change* trata apenas das mudanças ocorridas, preservando as ordens abertas planejadas e liberadas, ou seja, toda a programação anterior. O método reprograma

apenas as alterações ocorridas, tentando ajustá-las à capacidade não utilizada pela programação antiga. Não é um procedimento tão completo quanto o primeiro, mas é muito mais rápido. Além disso, muitas vezes não há justificativa para aplicar o *Schedule Regeneration* em pequenas alterações no programa de produção.

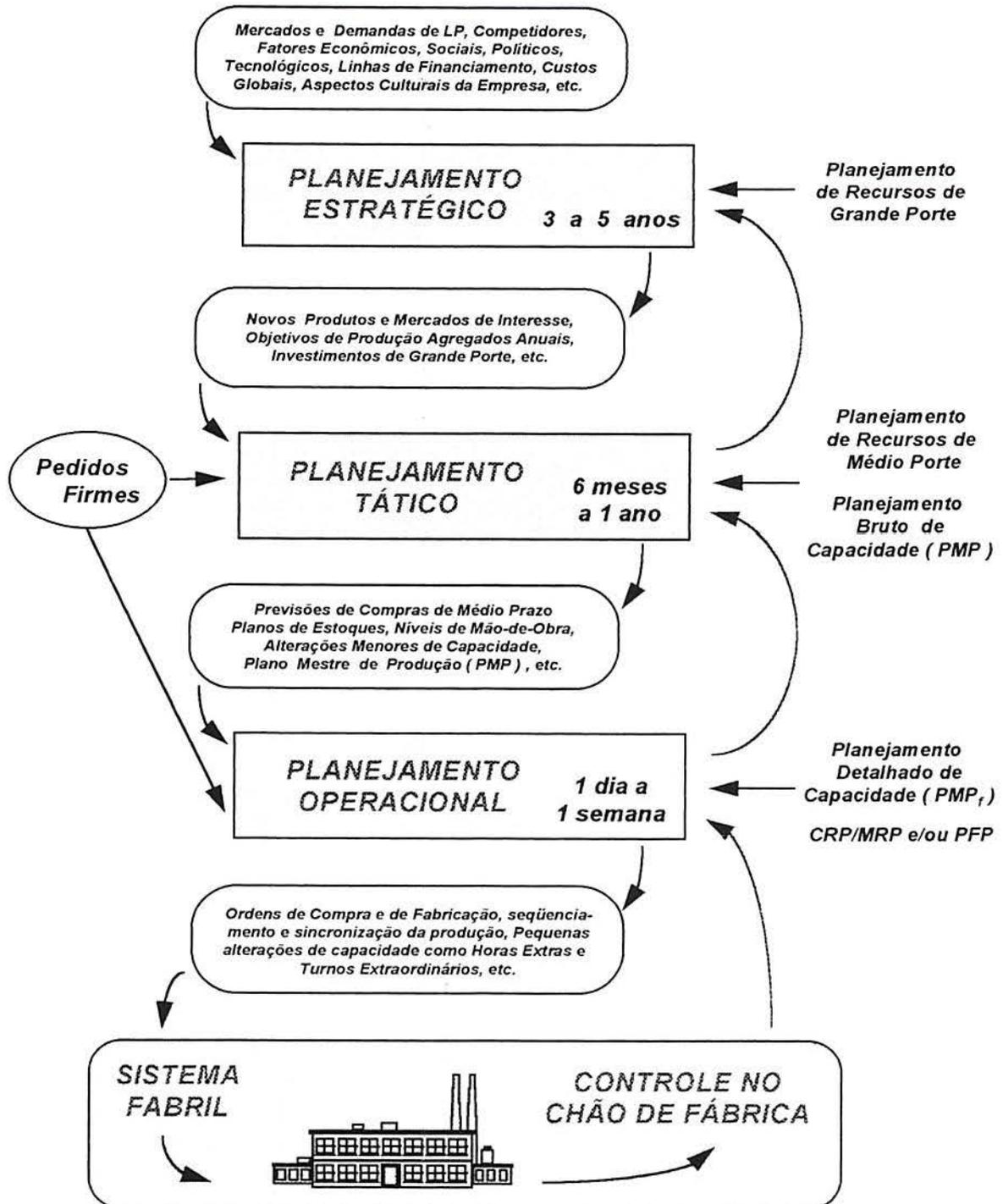


Figura 02. Fluxograma do Planejamento Hierárquico da Produção

A utilização do *Schedule Regeneration* ou *Net Change* depende basicamente do porte das alterações impostas ao programa de produção. A princípio utiliza-se o método regenerativo quando ocorrerem alterações significativas no plano de produção que dificultem o remanejamento das ordens existentes e/ou haja um possível comprometimento do controle da situação.

Na gestão da produção através de sistemas MRPII, é comum a execução de reprogramações completas periódicas, independente da existência ou não de grandes mudanças nos planos originais de produção. Isso ocorre em função das diversas perturbações menores que interferem diariamente no sistema produtivo, fazendo com que as condições de execução se alterem de forma cumulativa até o limite da perda de controle da situação.

De acordo com o que foi apresentado até o momento, convém ainda registrar algumas considerações finais quanto ao processo de planejamento da produção.

No sistema de planejamento com níveis hierárquicos, as decisões agregadas, tomadas nos níveis superiores do processo, impõem restrições às decisões detalhadas tomadas no nível inferior. Cada etapa do processo, e seu respectivo nível decisório, transfere ao nível inferior um conjunto de informações, objetivos, recursos e também uma gama de decisões a serem tomadas no âmbito de sua competência. A importância da coordenação é evidente. A integração entre as decisões agregadas e o planejamento operacional visando a implementação de planos de produção eficientes e sintonizados com a visão estratégica não é tarefa fácil. Vários trabalhos têm sido desenvolvidos por pesquisadores na área. Por exemplo, Tsubone et al. (1991) apresentam uma proposta de planejamento hierárquico para um sistema de produção de dois estágios, um de fabricação e outro de montagem. Berry et al. (1982) apresentam uma estrutura de planejamento adequada aos sistemas MRPII (*Manufacturing Resources Planning*) composta de três níveis, mais a função de controle no chão-de-fábrica e cinco pontos de avaliação de capacidade.

2.3. O Problema de Planejamento Operacional da Produção

2.3.1. O Desenvolvimento da Teoria de Programação e as Principais Soluções

O Problema geral de programação consiste em n trabalhos $\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ que devem ser processados em m máquinas $\{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ disponíveis. Um subconjunto dessas máquinas será necessário para completar o processamento de cada trabalho. O roteiro ou ordem das

máquinas, para qualquer trabalho, pode ou não ser fixo. O processamento do trabalho J_j na máquina M_i é denominado operação (O_{ij} - operação j na máquina i). Para cada operação O_{ij} existe um tempo de processamento associado t_{ij} . Também associado a cada trabalho J_j existe um prazo determinado d_j , onde o respectivo trabalho deve ser completado. Neste contexto, o problema da programação consiste na determinação e sequenciamento das tarefas relativas a cada máquina, considerando-se a dimensão temporal e objetivando atender a alguma medida de performance (a exemplo das citadas na seção 2.2.).

Maccarthy e Liu (1993) procuram posicionar a evolução e os principais resultados dos esforços de pesquisa na programação de produção no chão-de-fábrica. A teoria clássica de programação começou a se desenvolver no início da década de 50. Em 1954, Johnson publicou um artigo considerado como pioneiro nesse campo, um algoritmo eficiente e otimizador para a seguinte situação: " n " trabalhos a serem seqüenciados em duas máquinas dispostas em um *Flow Shop* (onde todos os trabalhos possuem um fluxo padrão idêntico a ser seguido) e objetivando a minimização do *makespan* (intervalo entre o início da primeira atividade sobre a primeira peça até a última atividade sobre a última peça). Posteriormente o algoritmo foi ampliado para casos especiais considerando a seqüência de três máquinas. Outros autores desenvolveram regras para problemas simples com uma máquina. Esses trabalhos formaram a base e impulsionaram as pesquisas que conduziram ao desenvolvimento da teoria clássica de programação.

Mais tarde, em fins da década de 50 até a metade da década de 60, vários métodos de otimização foram aplicados aos problemas de programação como formulações de programação inteira incluindo *Branch and Bound* e dinâmica. Os métodos heurísticos começaram a ser desenvolvidos, ao final desse período, para problemas que ultrapassavam a capacidade dos equipamentos de processamento de dados da época. A década de 70 caracterizou-se pelo amadurecimento da teoria, com uma melhor compreensão da natureza e complexidade dos problemas relativos. Os esforços realizados na década passada seguiram a tendência de procurar soluções para problemas mais práticos.

Vários métodos foram desenvolvidos para resolver o problema de programação de produção ao nível do chão-de-fábrica. Segundo Maccarthy e Liu (1993), os três principais grupos são os seguintes:

a) Métodos Eficientes de Otimização- são métodos que geram uma programação ótima (solução ótima) baseado numa função matemática desenvolvida para representar um dado problema. Os modelos comportam um número limitado de variáveis, consideradas as mais

significativas, são aplicáveis a situações específicas e a uma classe relativamente restrita de problemas. A designação eficiente é relativa à forma analítica de cálculo não baseada em métodos exaustivos;

b) Métodos de Otimização Enumerativos - configuram uma classe de métodos que envolvem a enumeração parcial de um conjunto de possíveis soluções para a programação. As formulações de Programação Matemática e o método *Branch and Bound* são exemplos característicos. Existem outros métodos de eliminação baseados em regras e condições diferentes de seleção. Na Programação Linear, a escolha e definição das variáveis e restrições determinam a estrutura e o tamanho do modelo. O critério de programação é definido na função objetivo e as restrições representam as condições escolhidas para melhor representar o ambiente de manufatura;

c) Métodos Heurísticos - Os algoritmos heurísticos procuram determinar soluções próximas à ótima. As estratégias ou critérios utilizados na solução dos problemas são variados e muitos procedimentos incorporam técnicas de *Branch and Bound*, através das quais os ramos mais promissores da “árvore” de possibilidades são explorados.

Outra técnica com larga aplicação no campo da manufatura, e em especial na programação de produção, é a simulação computacional.

A simulação é uma poderosa ferramenta de suporte à tomada de decisão com aplicações nas mais variadas áreas, capaz de criar modelos representativos de sistemas reais complexos demais para um tratamento analítico. Embora a simulação possa convergir para melhores soluções através da interação com o usuário, ela não é uma técnica otimizante em si, sendo mais considerada como uma técnica do tipo *what if?* ou “o que aconteceria se?”. Na prática o usuário testa no modelo uma série de alternativas, verificando o impacto ou resultados de cada uma das possíveis linhas de ação, tira conclusões, procede os ajustes necessários e decide pela que julgar mais adequada.

2.3.2. Algoritmos Voltados ao Planejamento Fino da Produção

Os algoritmos de planejamento de chão-de-fábrica têm por objetivo criar cronogramas de fabricação que especifiquem o equipamento e o instante em que cada tarefa deverá ser realizada, visando alguma medida de desempenho. Os algoritmos são, em geral, desenvolvidos e dirigidos ao padrão de fluxo que os produtos percorrem no sistema produtivo durante a sua transformação. Os dois padrões principais são o *Flow Shop* e o *Job Shop*. No *Flow Shop*

mencionado na seção 2.3.1. todos os trabalhos possuem um fluxo padrão e idêntico a ser seguido. Já o Job Shop é o caso mais geral, onde cada trabalho possui o seu fluxo padrão próprio ou seu roteiro através das máquinas. Os algoritmos do tipo *Flow Shop* são bastante diferentes e mais simples que os do tipo *Job Shop*, justamente porque este último constitui um caso mais geral dos sistemas de manufatura, trabalhando, portanto, com um número maior de variáveis e respectivas combinações. Geralmente, os procedimentos de escalonamento das atividades no tempo dos *Job Shops* são heurísticos, devido ao porte e à complexidade desses sistemas que, muitas vezes, inviabilizam o tratamento analítico do problema. A teoria das filas pode ser aplicada ao *Flow Shop* com demanda aproximadamente constante, representando mais uma possibilidade de solução para o caso.

Walter (1993) classifica os algoritmos de programação em três tipos principais quanto ao sentido cronológico em que se desenvolve o planejamento:

- a) escalonamento direto;
- b) escalonamento reverso;
- c) escalonamento a partir do gargalo.

No escalonamento direto, o sequenciamento é realizado avante, através da estrutura do produto, partindo das matérias primas e componentes até o produto final. As tarefas são realizadas o mais cedo possível, evoluindo no mesmo sentido que a variável tempo, ou seja, para o futuro. A tendência desse tipo de algoritmo é gerar estoques elevados de materiais em processo, ou *Work in Process (WIP)*, quando existem atividades de montagem, em virtude do problema de sincronização, ou antes dos gargalos, porque o material é empurrado até a restrição do sistema. Ainda, sem um controle adequado, pode existir a formação excessiva de estoques de produtos acabados.

Quando se fala em escalonamento através das estruturas dos produtos, convém analisar um pouco mais o que a afirmação representa. As estruturas de produto são montadas na seqüência lógica de fabricação e montagem do produto, ou seja, entre cada relação item pai e item filho existe um roteiro de produção definido. Verdadeiramente se pode afirmar que o escalonamento ocorre não exatamente sobre a estrutura, que superficialmente parece voltada exclusivamente ao aspecto materiais, mas sobre o roteiro de fabricação implícito. Mais detalhadamente ainda, o escalonamento é realizado operação por operação, na seqüência

definida no roteiro. A Figura 3, Estruturas de Produto e Roteiros de Fabricação, oferece uma representação mais visual do fato .

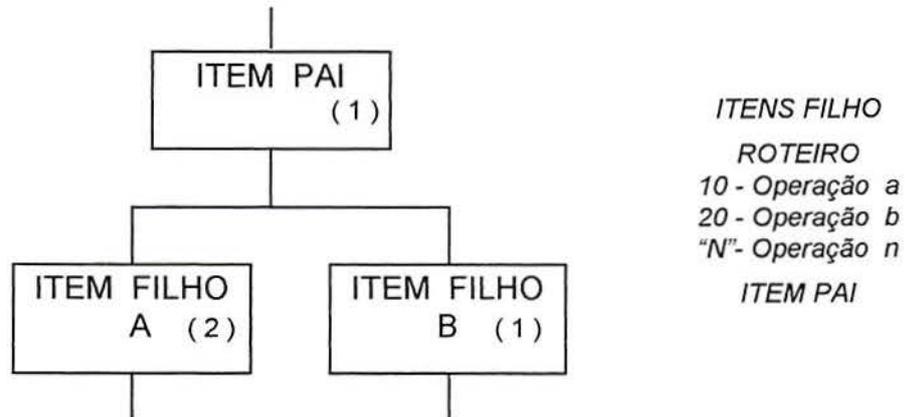


Figura 3 . Estruturas de Produtos e Roteiros de Fabricação.

O escalonamento reverso trabalha no sentido inverso ao cronológico. Inicia pelas datas de entrega dos pedidos e, utilizando a estrutura do produto, realiza a alocação de tarefas e recursos na data mais tarde possível. Analogamente, poderíamos dizer que se realiza uma “desmontagem” dos produtos a partir da data de entrega prevista até o presente. Esse processo realiza uma sincronização nas atividades de montagem, o que proporciona redução do *Work in Process*.

O escalonamento direto e reverso é mais conhecido no meio de planejamento da produção como programação *Forward e Backward*. O termo escalonamento deriva do termo em inglês *Time Phasing*, o qual equivale, em português, ao escalonamento das atividades no tempo.

O escalonamento a partir dos gargalos é um sistema híbrido que utiliza os dois conceitos anteriores. Essa técnica foi explorada e desenvolvida por Goldratt (1989), a partir dos princípios da Teoria das Restrições e da Tecnologia da Produção Otimizada. O ponto-chave do processo é a identificação dos gargalos de produção, que limitam e, portanto, determinam a real capacidade do sistema produtivo como um todo. Um gargalo pode ser definido como um recurso cuja capacidade é igual ou menor do que a demanda colocada nele. A afirmação de que os gargalos determinam a capacidade do sistema como um todo encontra suporte no fato de que o processo produtivo é composto por uma série de eventos dependentes, ou seja, o evento de menor capacidade (o centro produtivo de menor capacidade para um determinado *mix* de produção) determina a produção máxima do conjunto global. Os gargalos devem produzir

ininterruptamente porque não é possível recuperar o tempo perdido nesses recursos, tendo em vista a inexistência de folga na capacidade produtiva.

Utilizando-se o raciocínio lógico, a análise das colocações acima sugere que as operações anteriores ao gargalo poderiam ser escalonadas com o objetivo de suportar a produção do referido gargalo ou a produção contínua da restrição do sistema. Portanto, uma programação do tipo reverso seria adequada para manter o abastecimento do recurso crítico, fazendo com que os materiais sejam “puxados” pelo gargalo na data mais tarde possível, acrescida de uma folga temporal de segurança. Por outro lado, considerando-se a folga de capacidade existente adiante do gargalo, uma programação do tipo direta poderia apressar a conclusão do produto final e reduzir o *lead time* total de atendimento ao cliente. É clara a necessidade de uma sincronização no processo para evitar a formação de estoques.

Goldratt aplicou um escalonamento misto, a partir do gargalo, na lógica dos *software* de programação OPT - *Optimised Production Technology* e *Disaster*, desenvolvido por ele e sua equipe. O algoritmo original foi denominado de Tambor, Pulmão e Corda (*Drum Buffer Rope*) o qual, em linhas gerais, identifica a restrição do sistema produtivo, subordina a produção dos demais recursos ao ritmo imposto pelo gargalo e instala pulmões temporais ou estoques de segurança em pontos estratégicos da fábrica.

O exemplo mais representativo de aplicação do escalonamento reverso são os sistemas do tipo MRPII. O algoritmo do MRP realiza o escalonamento a partir da data de entrega futura dos pedidos para o presente, de acordo com as estruturas dos produtos e roteiros de fabricação. As ordens de compra, fabricação e montagem são emitidas na data mais tardia possível, de acordo com os respectivos *lead times*, mas em prazo hábil para atender as datas de entrega.

Alguns *software* do tipo MRPII oferecem, como recurso adicional, a opção para execução da programação através do escalonamento direto, isso mediante escolha do usuário. É um recurso útil, especialmente quando se deseja estimar datas de entrega futura a partir da data presente.

CAPÍTULO 3

O PLANEJAMENTO DE MATERIAIS

O problema do Planejamento e Programação da Produção, da forma como é tratado tradicionalmente, pode ser dividido em duas fases principais: o cálculo de materiais, incluindo itens finais, intermediários e comprados, mais a avaliação da capacidade correspondente. Esse capítulo visa discutir algumas técnicas utilizadas no cálculo de materiais. Embora tecnicamente este seja bem mais fácil do que a avaliação de capacidade, as empresas já enfrentam dificuldades significativas na sua implementação.

A determinação dos itens necessários e respectivas quantidades compreende inicialmente os produtos acabados a partir dos quais são calculados os produtos intermediários, matérias primas, peças e componentes. Logicamente, não é possível realizar inferências sobre a capacidade exigida sem a determinação dos itens e quantidades a serem produzidas, regra que vale para o planejamento estratégico, tático e operacional. No chão-de-fábrica a capacidade é usualmente avaliada a partir dos itens finais constantes no Plano Mestre de Produção (ordens de produção para os itens finais) e das correspondentes ordens de fabricação e montagem para os itens intermediários buscando atender ao Plano Mestre. Um planejamento ruim de materiais implica necessariamente numa avaliação falha da capacidade.

As análises de capacidade que tomam como base apenas os produtos finais necessários apresentam aproximações de precisão muito limitada e são incluídas na categoria *rough cut capacity* ou avaliação bruta de capacidade. São mais adequadas ao planejamento estratégico e tático, embora existam técnicas *rough cut* comumente aplicadas ao planejamento operacional. O processo de carga máquina detalhado só pode ser realizado com base nas ordens de fabricação e montagem dos produtos intermediários e finais. No capítulo seguinte, serão apresentadas e discutidas várias técnicas utilizadas no cálculo de capacidade e a diferenciação entre as avaliações brutas e finas será melhor compreendida.

As seções seguintes têm o objetivo de apresentar e discutir as técnicas mais usuais para a determinação da ordem de fabricação ou compra. Essencialmente a revisão estará tratando de responder duas questões fundamentais para o planejamento e controle da Produção: **o que** e **o quanto** comprar ou fabricar. Em se tratando de itens comprados, as abordagens também determinam **o quando** a requisição de compra deve ser emitida. Para itens fabricados a questão

quando fabricar está estreitamente ligada ao aspecto de capacidade e, portanto, tratada no capítulo 4, O Planejamento de Capacidade.

3.1. Reposição de Materiais por Ponto de Pedido e Controle Periódico

O cálculo de materiais, através do Ponto de Pedido (PP), pode ser empregado para itens comprados e fabricados. Basicamente, o modelo estabelece um equilíbrio entre as quantidades de reposição e o consumo, visando a manutenção de um estoque mínimo ou de segurança. Se a importância do item for menor, o estoque mínimo pode até ser nulo.

A Figura 04, abaixo, permite uma visualização do comportamento dos estoques quando a reposição acontece de acordo com a técnica do Ponto de Pedido. O gráfico abaixo é comumente chamado de dentes de serra pela semelhança com uma lâmina de serra, onde T_R é o tempo de reposição, Q_R é a quantidade de reposição e E_{min} é o estoque mínimo desejado.

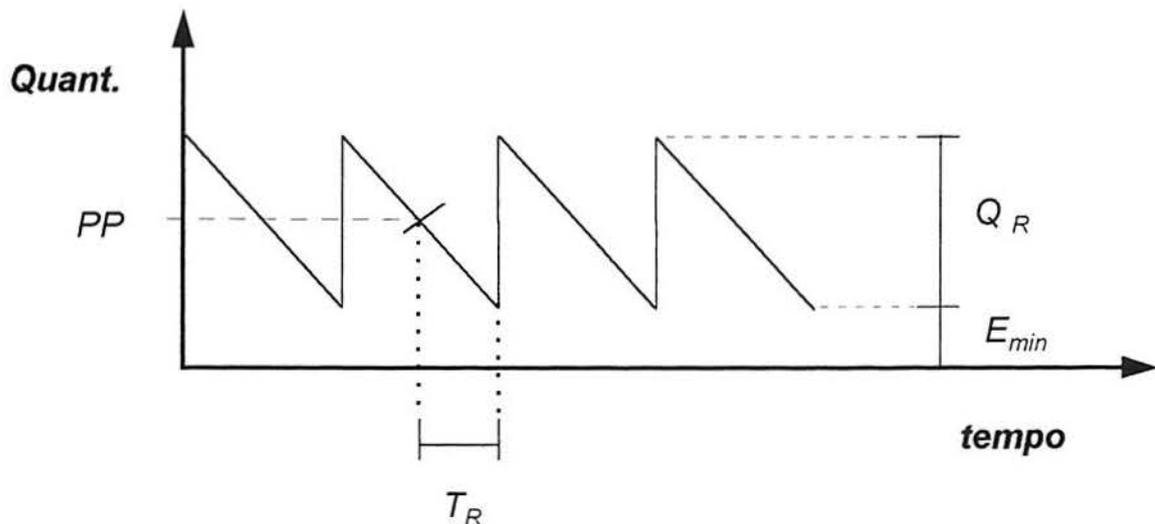


Figura 04. Reposição de Estoques por Ponto de Pedido

Fonte: Monks (1987)

O Ponto de Pedido ou de reencomenda é a quantidade do item em estoque que serve como referência para que o processo de ressurgimento seja acionado. Considerando o tempo de reposição (*lead time* de reposição) e o consumo médio esperado, aguarda-se que o lote de

reposição chegue quando o nível de estoque estiver próximo ao estoque mínimo. É um modelo determinístico sensível à variação dos *lead times* de consumo e ressuprimento.

Sacomano (1990) apresenta uma diferenciação entre estoque mínimo e de segurança. O estoque mínimo representa um ponto de controle utilizado para sinalizar que há sério risco de ruptura de estoque, enquanto o estoque de segurança consiste num estoque adicional que deve funcionar como reserva para absorver variabilidades do sistema tais como: aumento no consumo médio, atrasos na entrega, problemas de qualidade, etc. Para o autor mencionado, o ponto que está representado como E_{\min} na Figura 04 é a soma dos estoques mínimo e de segurança. Na prática, é possível trabalhar apenas com um estoque único, sem diferenciação entre mínimo e de segurança.

O ressuprimento através de lotes menores em intervalos mais curtos reduz o investimento em estoques, isso até o limite econômico viável do lote de fornecimento.

A técnica de reposição por Ponto de Pedido é correntemente aplicada nas situações abaixo:

- a) a demanda pelo item é relativamente estável;
- b) o fornecimento apresenta confiabilidade mínima em termos de prazos e qualidade;
- c) a importância do item em termos de valor não é muito grande (ver seção 4.2. Classificação ABC dos materiais);
- d) quando as técnicas de determinação das necessidades de materiais baseadas no PMP não são adequadas como, por exemplo, no caso de materiais importados.

O gráfico da Figura 04 representa o comportamento de itens comprados, o que pode ser observado nas retas verticais que representam a quantidade de ressuprimento (Q_R). A variação entre o estoque mínimo e máximo é instantânea, representando a chegada de um lote de ressuprimento o qual é imediatamente acrescido ao estoque. Quando se trata de itens fabricados, a reposição é gradual, assim como o consumo. Portanto, a reta que representa a reposição possui inclinação positiva entre $0^\circ < \alpha < 90^\circ$.

A Figura 05 ilustra o comportamento do estoque para itens fabricados, onde a reposição ocorre de acordo com uma taxa de produção por unidade de tempo (T_p) e não instantânea, como no caso anterior. Tanto para itens comprados, como fabricados, o consumo ocorre a uma taxa por unidade de tempo (T_c). A inclinação das retas são definidas pelas razões de incremento

($p-c$) e de consumo (c). A razão de incremento de estoque é a diferença entre a taxa de produção do item menos sua respectiva taxa de consumo.

Observamos que a técnica de ressuprimento de estoques por ponto de pedido trabalha com uma quantidade de reposição fixa, enquanto que nos intervalos entre os pedidos é variável. O processo de ressuprimento só é “disparado” quando o nível de estoque atingir o Ponto de Pedido.

Em contrapartida, existe outro método de reposição no qual os intervalos são fixos e a quantidade é variável. É o chamado Controle Periódico. Na situação em que o ressuprimento de materiais acontece em períodos fixos, diários, semanais, mensais, trimestrais, etc, o ressuprimento por Ponto de Pedido pode falhar. Os estoques podem se tornar excessivos ou insuficientes.

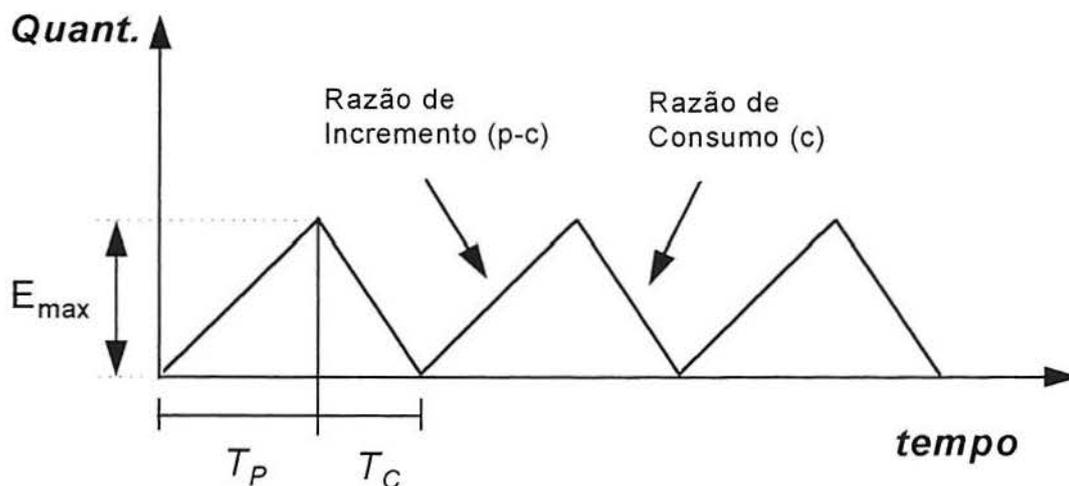


Figura 05. Comportamento dos Estoques para Itens Fabricados

Fonte: Sacomano (1990)

No ressuprimento periódico, os estoques são regulados pela *quantidade do pedido*, já que o intervalo entre as ordens é fixo. As quantidades variáveis visam manter os níveis de estoques desejados. O ressuprimento periódico é mais adequado a situações onde o volume de produção é elevado para uma linha de produtos limitada (*mix* de produção reduzido). Nesse tipo de sistema produtivo, a reposição dos estoques é encarada como um regulador do fluxo de peças e materiais, diferente dos sistemas que calculam as necessidades dos materiais exatamente de acordo com os itens a serem produzidos.

Segundo Ammer (1979), de uma forma geral, o sistema de reposição periódica pode ser empregado quando uma ou mais das condições abaixo se verificam:

- a) os saldos dos estoques são determinados apenas periodicamente, tornando inviável o sistema de ponto de pedido;
- b) muitos itens são pedidos ao mesmo fornecedor ao mesmo tempo visando reduzir os custos de processamento internos do pedido e transporte;
- c) o consumo é discreto, como por exemplo o item é retirado apenas uma vez do estoque por mês;
- d) o item é comprado em grandes quantidades e requer um significativo percentual de capacidade produtiva do fornecedor;
- e) o preço não sofre variações com a quantidade comprada ou os descontos por quantidade permanecem mesmo com entregas programadas.

As técnicas de reposição por Ponto de Pedido e Controle Periódico apresentam a característica de se basearem no **consumo médio passado** para efeito de ressuprimento dos materiais. Isto significa que ignoram o *mix* e o volume de produção futuros, de tal forma que, quanto maiores forem as divergências entre a produção passada e futura, maiores serão as distorções na reposição dos materiais. Esse aspecto deve ser claramente compreendido ao utilizarmos essas técnicas. Segundo Plossl (1995), a técnica Ponto de Reposição é considerada um método estatístico de controle e reposição, através de um conjunto de dados, procedimentos e regras de decisão que buscam o suprimento constante de materiais, mesmo com uma relativa incerteza quanto à demanda.

O método de Controle Periódico é bastante utilizado para determinar ordens de fabricação em empresas do tipo repetitivo e, portanto, merece comentários adicionais que evidenciem essa prática.

Especialmente nas empresas tradicionais que tendem a uma configuração mais próxima do modelo *Just-in-Case*, a continuidade entre os processos é assegurada por estoques intermediários que garantem o abastecimento contínuo de materiais para os processos subsequentes. Muitas empresas do tipo repetitivo acabam por gerir a produção através da manutenção desses estoques. Após o estabelecimento dos níveis desejados ou necessários de estoque para cada item, as ordens de fabricação se limitam a repor essas quantidades em intervalos regulares como, por exemplo, diariamente.

Naturalmente, a frequência de reposição depende do tamanho dos lotes, tempos de preparação e outros fatores. Entretanto, é certo que, quanto mais desenvolvido for o sistema produtivo, menores serão os níveis de estoque necessários, especialmente porque os estoques são largamente empregados para suportar os problemas existentes. A partir desses conceitos, o conceito de cobertura de estoque é bastante útil. A cobertura de estoques é calculada pela razão entre o estoque existente ou desejado sobre o consumo médio do item e pode ser utilizada como parâmetro de reposição. Por exemplo: a quantidade da ordem de reposição deve elevar o nível de estoque para algo em torno de 1,5 dias de cobertura, com emissão diária de ordens de produção.

$$C_{est} = \text{Estoque} / \text{CM}$$

Onde,

C_{est} = Cobertura do Estoque / período

Estoque = Estoque do Item em Unidades

CM = Consumo Médio do Item / período

A Tabela 01 apresenta uma gestão de ordens de fabricação típica de reposição de estoques através das coberturas, onde E_f e E_i representam, respectivamente, os estoques iniciais e finais dos períodos.

Item "A"

Consumo Médio = 1500 pç / dia

Cobertura Desejada = 02 períodos ou 3000 pç

Lote de Produção: Múltiplos de 200 Pç.

Período 01				Período 02		
Ei (pç)	Cobertura (dias)	Ordem (pç)	Ef ₀₁ = Ei ₀₂ (un)	Cobertura (dias)	Ordem (pç)	Ef ₀₁ = Ei ₀₂ (pç)
600 (1)REAL	0,4	4000	3200	2,13	1400	3000
600 PREVISÃO	0,4	4000	3100	2,07	1400	3000

- (1) O estoque final pressupõe um consumo variável, de acordo com as necessidades de produção. Consumos reais: período 01 = 1400 pç e período 02 = 1600 pç.

Tabela 01. Ordens de Fabricação Emitidas por Controle Periódico.

A primeira ordem fabricação emitida no período 01 visa recuperar o nível de estoque que se apresenta baixo. Já no segundo período, a quantidade da ordem busca apenas a manutenção do nível de estoque em aproximadamente dois dias. O raciocínio de cálculo pode ser melhor entendido através da equação a seguir:

$$\frac{OF + Est. 1 - CM}{CM} = 2$$

$$OF = 2 \times CM - Est. 1 + CM$$

Onde,

OF = Quantidade da Ordem de Fabricação (un);

Est. 1 = Estoque Inicial (un);

CM = Consumo Médio no Período (un);

2 = Constante igual a dois períodos de cobertura desejados.

Para o primeiro período temos:

$$OF = 2 \times CM - Est. 1 + CM$$

$$OF = 2 \times 1500 \text{ (pç)} - 600 \text{ (pç)} + 1500 \text{ (pç)}$$

$$OF = 3900 \text{ pç ou } 4000 \text{ pç (considerando os lotes de 200 pç)}$$

De um modo geral, quanto mais reduzidos forem os estoques intermediários e as ordens de fabricação, maior será o grau de desenvolvimento do sistema produtivo. A gestão da manufatura repetitiva, através da manutenção de estoques intermediários, representa uma lógica diferente da emissão de ordens para atender à manufatura intermitente. No caso, as quantidades de cada ordem são calculadas com o objetivo de atender essencialmente ao lote de fabricação desejado. Os métodos de Cálculo pela Lista de Materiais e pela Estrutura de Produto, que serão vistos adiante, representam exemplos de cálculo mais adequados para a manufatura intermitente.

Muitas vezes as empresas necessitam administrar quantidades consideráveis de itens em estoque com características diversas. Em empresas de porte, dependendo do ramo de atividade, é comum a existência de 5.000 a 20.000 itens em estoque, entre materiais comprados e fabricados. Isso sugere a necessidade de determinação de políticas de administração dos estoques e, principalmente, critérios para a priorização de ações eficazes na gestão dos materiais.

A classificação ABC dos materiais é um instrumento prático de agrupamento dos itens em estoques de acordo com os respectivos investimentos financeiros.

3.2. Classificação ABC dos Materiais

O sistema ABC permite um controle seletivo dos itens em estoque. Os estoques de segurança devem ser baixos ou nulos para itens que exigem um investimento maior; o tamanho das ordens é menor e a frequência de reposição maior. Isso significa que os itens mais importantes vão receber maior atenção dos gestores de materiais. Em contrapartida, os itens de menor importância receberão menor atenção e as faltas de estoques serão evitadas pela manutenção de estoques de segurança mais altos.

As análises, efetuadas em diversas empresas com estoques diversos, revelam que uma grande percentagem do investimento em estoques está concentrada em alguns poucos itens. Por outro lado, a maioria dos itens em estoque representa apenas uma pequena parcela do valor financeiro movimentado. Essa é a essência da classificação ABC: identificar e agrupar os itens de acordo com o investimento financeiro exigido.

Wight (1984) utiliza a seguinte divisão dos materiais em 3 classes (A, B e C), de acordo com a distribuição a seguir:

a) CLASSE A, grupo de itens mais importantes e que devem ser tratados com atenção especial pelos administradores de materiais. Compreendem entre 10% a 20% dos itens e respondem por 67% a 75% do investimento em estoques.

b) CLASSE B, grupo de materiais em situação intermediária. Representam de 20% a 35% dos itens em estoque e um valor correspondente de 15% a 30% do investimento.

c) CLASSE C, grupo com itens de importância secundária para os gestores de materiais. Em média totalizam de 50% a 70% dos itens, mas compreendem apenas 5% a 10% do investimento em estoques.

A divisão dos materiais em três grupos e o próprio critério de agrupamento devem ser considerados apenas como referenciais. Muitas empresas trabalham com a classificação ampliada ABCDE, ABCDEF, etc, que nada mais é do que a divisão dos materiais em mais de três categorias, naturalmente todas com políticas diferenciadas de gestão. Essa prática permite uma gestão mais precisa dos materiais, de acordo com as necessidades de cada organização.

A Figura 06 mostra uma curva ABC típica para 10 itens em estoque. Nos itens B e C, 20% dos itens mantidos em estoque correspondem a 67% do valor movimentado anualmente. Nos itens D, E, e G, 30% dos itens em estoque, representam 21% do valor movimentado no período. Finalmente, nos demais itens, A, F, H, I e J equivalem a apenas 12% da movimentação financeira, embora totalizem 50% dos itens em estoque. A classificação ABC equivale à aplicação do princípio de Pareto na gestão de materiais, onde as ações são concentradas nos itens mais significativos, no que diz respeito ao aspecto financeiro.

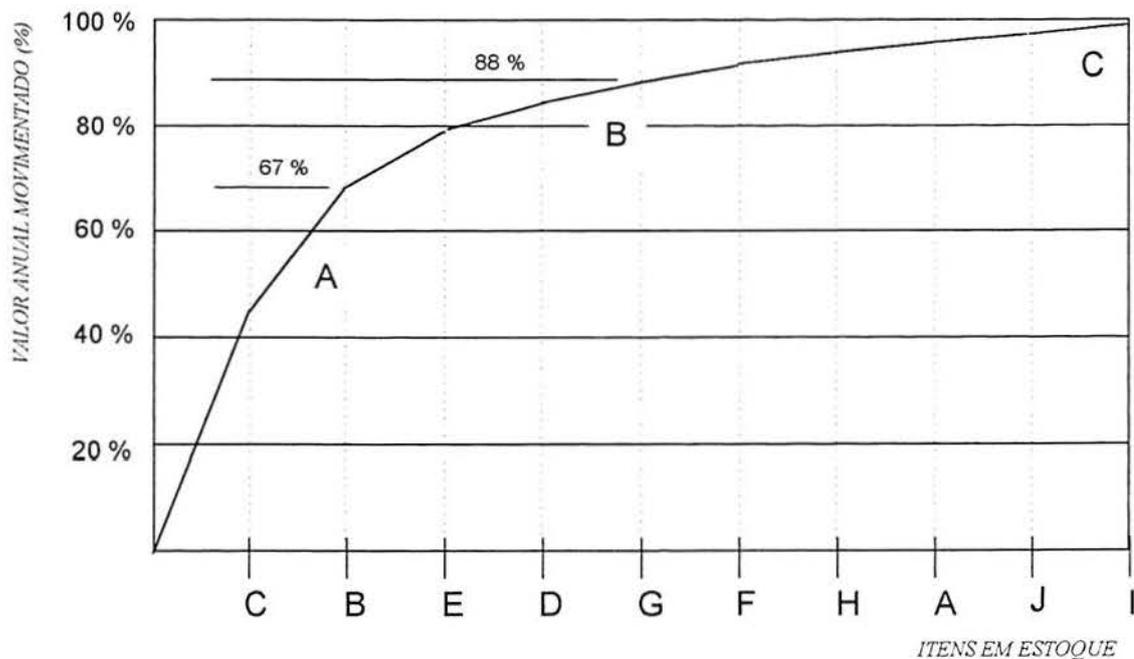


Figura 06. Exemplo de Curva ABC

3.3. Cálculo Através da Lista de Materiais

O cálculo de materiais pela lista representa uma prática usual em muitas empresas e, por essa razão, será apresentado a seguir. É bastante característico nas empresas onde não existem sistemas mais sofisticados para cálculo de materiais, como os do tipo MRP/MRP II, os quais são substituídos por ações manuais e/ou executadas em planilhas eletrônicas.

O cálculo pela Lista de Materiais apresenta uma diferença importantíssima em relação às técnicas Ponto de Pedido e Controle Periódico: o cálculo de materiais passa a ser realizado a partir do Plano Mestre de Produção e não mais baseado no consumo passado.

A Tabela 02 ilustra uma das maneiras como o cálculo pode ser realizado através da Lista de Materiais.

Item	Quant. por Montagem (1)	Necess. Prod. Final	Quant. Preliminar (1) X (2)	Estoque (-)	Ordens Aberto (-)	Estoques Segurança (+)	Lote Mínimo	Ordens Prod. e Compra
PF	x	50		5	-	0	-	45 (2)
A	1	45	45	15	-	10	-	40
B	1	45	45	10	-	-	-	35
C	4	45	180	25	-	-	-	155
D	1	45	45	5	-	-	-	40
E	2	45	90	1	-	-	-	89
F	2	45	90	15	20	-	-	55
G	1	45	45	5	-	-	-	40
H	1	45	45	0	-	-	60	60

Tabela 02. Cálculo das Necessidades Materiais pela Lista

O cálculo dos materiais consiste na simples multiplicação dos itens da lista com suas respectivas quantidades, pela quantidade de produto final que se deseja fabricar, definidas no Plano Mestre de Produção. As demais colunas mostram outros fatores que podem ser considerados, como estoques, ordens em aberto no chão-de-fábrica, estoques de segurança e lotes de fabricação.

A Lista de Materiais é um documento normalmente emitido e atualizado pela engenharia de projeto, juntamente com os outros documentos relativos ao projeto do próprio produto final tais como desenhos e especificações. Nada mais é do que uma relação de todos os itens necessários para a fabricação, com as respectivas quantidades por unidade de produto final. Atenção especial deve ser dada para as considerações dos efeitos de rendimento de processo e segregação por problemas de qualidade. Os percentuais de rendimento e índices de perdas por problemas de qualidade devem ser considerados, de maneira que o cálculo dos materiais seja suficiente para atender ao Plano Mestre.

Convém esclarecer e diferenciar bem os conceitos rendimento de processo e segregação por problemas de qualidade. O aspecto de rendimento de processo é extremamente comum e se caracteriza pela perda de uma parcela dos materiais que estão em transformação, seja por características do próprio processo produtivo, equipamentos ou tecnologia disponíveis. Como exemplos de rendimento temos: formação de óxidos no lingotamento e laminação de aços, pontas ou sobras de corte de chapas ou perfis, rebarbas de materiais forjados, perda de tinta no processo de pintura por pistola de ar comprimido ou *airless*, recortes de cerâmica na construção civil, etc. O conceito de segregação por problema de qualidade considera os materiais necessários para suportar as perdas por produção de itens defeituosos, os quais são identificados e descartados pelo sistema de controle da qualidade. Alguns exemplos: placas de circuito defeituosas, parafusos com fendas ou rosca imperfeitos, carcaças de motores elétricos com problemas de usinagem, um produto químico fora de especificação, etc.

Um aspecto importante a ser observado no cálculo pela Lista de Materiais é que a demanda de todos os itens é diretamente dependente do produto final. A técnica de cálculo de materiais através da Estrutura do Produto, que será analisada a seguir, utiliza um conceito diferente chamado de demanda dependente. Por essa razão, os resultados através das duas técnicas podem diferir.

3.4. Cálculo de Materiais pela Estrutura de Produto

3.4.1. Aspectos Gerais sobre Estruturas de Produto

A Estrutura de Produto (EP) é uma representação gráfica de todos as matérias primas, peças, componentes e submontagens necessários à fabricação do produto final, com as respectivas quantidades. Como todos os itens são agrupados na seqüência lógica, as estruturas fornecem uma noção de como está estruturado o processo de fabricação e montagem do produto. Os itens são dispostos em níveis no sentido horizontal, como se fossem camadas, onde cada nível recebe um número seqüencial de cima para baixo. O nível zero é o inicial e representa o produto final; os seguintes serão denominados nível um, dois, três, etc, sucessivamente até o nível mais baixo da estrutura. Cada item da EP é representado, geralmente, por retângulos contendo a sua descrição, código, unidade de medida e quantidade necessária e dispostos na seqüência lógica de fabricação ou montagem do produto final. Os materiais, peças ou componentes utilizados para a produção de um determinado item ficam dispostos logo abaixo do

mesmo e ligados por linhas retas. Estes são chamados de itens “filhos”, enquanto o item produzido é denominado de “pai”. A denominação vale em quaisquer níveis da estrutura.

Como as Estruturas de Produto são o instrumento para essa técnica de cálculo das necessidades de materiais, convém discutir alguns aspectos importantes sobre o meio, antes de se apresentar o método propriamente dito.

A determinação de uma Estrutura de Produto não é uma tarefa tão simples como parece. Considerando os objetivos, hoje se admite a existência de mais de uma estrutura para uma mesmo produto, como por exemplo, uma estrutura utilizada pela engenharia de projeto e outra para fins de planejamento e controle de produção. Convém discutir alguns aspectos que interferem na definição de uma estrutura para fins de planejamento e controle.

Durante o trabalho de montagem das EP's, o analista trabalha entre dois extremos: um detalhamento excessivo das operações de fabricação, que pode criar uma estrutura com muitos níveis (excessivamente verticalizada) ou, uma simplificação exagerada que pode levar a uma estrutura muito simples e (demasiadamente horizontalizada). Ambas não atendem aos objetivos de planejamento. A Figura 07 apresenta as duas situações.

Observando-se as estruturas da Figura 07, surge a questão: **qual o ponto ótimo de detalhamento para uma representação adequada aos objetivos de Planejamento e Controle?** A análise de algumas premissas implícitas nas estruturas e suas funções fornece a pista para a solução.

Subentende-se que, toda vez que os respectivos itens “filho” são reunidos e processados para fabricação de um item de nível superior, há a emissão de uma ordem de fabricação. Os materiais (itens “filho”) são deduzidos do controle de estoques e aplicados numa determinada ordem, a qual possui um respectivo roteiro de fabricação. Concluir o roteiro especificado significa concluir uma ordem de fabricação e o respectivo lançamento no estoque de materiais em processo correspondente a uma quantidade de itens (“pai”) produzidos. A conclusão da ordem e disponibilização do item “pai” no estoque é um sinal recebido pelo Planejamento e Controle, utilizado com o objetivo de coordenar a liberação de novas ordens de fabricação e montagem, entre outros procedimentos. As peças efetivamente liberadas (sem problemas de qualidade), o registro do refugo gerado e os materiais realmente consumidos durante a execução da ordem são elementos de controle da produção. Considerando as informações mais elementares de um roteiro de fabricação como equipamentos, tempo de processamento, tempo de *setup*, matrizes e dispositivos, será possível comparar, por exemplo, tempos de

processamento e *setup* previstos com realizados.

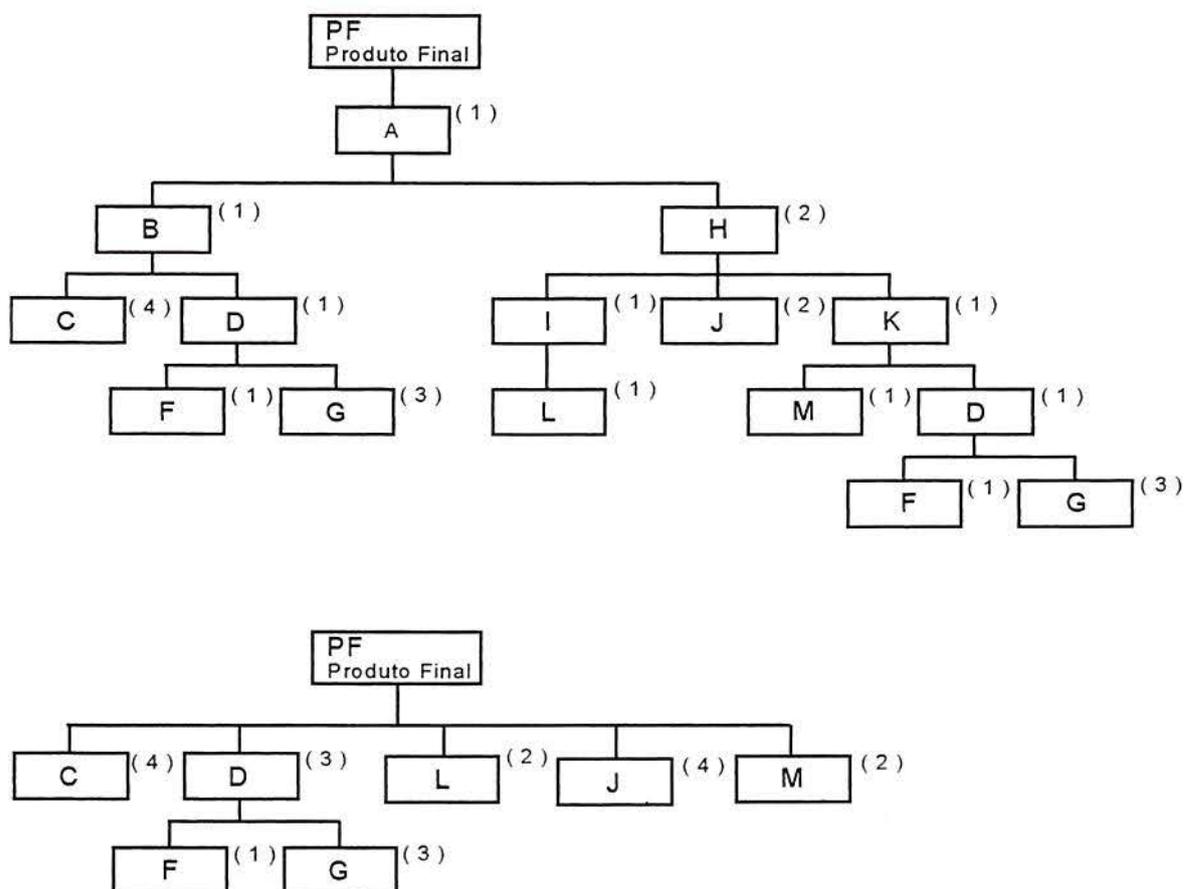


Figura 07. Exemplos de Estruturas de Produto

O parágrafo anterior está repleto de aspectos voltados ao controle e gestão da produção, exercidos através de um documento chamado ordem de fabricação, que por sua vez é emitido sempre que um item “pai” é produzido. Assim, o fator controle da produção surge como um fator importante no detalhamento das estruturas de produto. As operações **não relevantes** são agrupadas em um mesmo roteiro, numa mesma ordem, e ao planejador somente serão “visíveis” os materiais necessários e o item resultante. Nesse caso, etapas intermediárias, mesmo que produzindo alguma peça ou um subconjunto bem determinado, são apenas parte de um processamento maior.

Detalhar demasiadamente uma estrutura significa a abertura de mais ordens e o uso excessivo de burocracia e controle. Por outro lado, estruturas muito simples não permitem o controle mínimo necessário da produção em curso. Na Figura 07, as estruturas apresentadas

provavelmente oscilam entre esses extremos. Ao planejador de produção cabe estabelecer quais são os pontos de controle relevantes no processo, que devem ser cuidadosamente considerados nas estruturas de produtos, ordens de fabricação e respectivos roteiros.

Convém comentar que a lógica de controle acima descrita é de uso geral para o planejamento e controle da produção, mas é particularmente utilizada nos sistemas do tipo MRPII que planejam, emitem ordens e controlam a produção essencialmente baseados nas Estruturas de Produto. Não serão aqui discutidos temas como a aplicação de outros recursos existentes no sistemas MRPII como itens “fantasmas”, *backflush* e dispositivos para manufatura repetitiva que também influenciam bastante na lógica de gestão da produção no chão-de-fábrica.

3.4.2. Cálculo de Materiais pela Estrutura de Produto

O cálculo dos materiais necessários através das estruturas de produto parte de alguns conceitos fundamentais: a demanda dependente, demanda independente, necessidades brutas e necessidades líquidas de materiais. Da mesma forma que o método da Lista de Materiais, o cálculo pela estrutura parte de um Plano Mestre de Produção que representa os itens a serem produzidos.

De acordo com Bastos (1988), a demanda dependente existe quando há uma relação de dependência entre os componentes de um determinado produto. Essa dependência pode ser vertical, na medida em que determinado item tem a sua demanda determinada pelo item imediatamente acima na estrutura de produto (item “pai”), e assim sucessivamente até o produto final do qual faz parte. Existe ainda a demanda dependente horizontal, como é o caso de um componente complementar ao produto, como um manual de instruções, por exemplo. Essa situação é particularmente fácil de ser verificada numa Estrutura de Produto, onde todos os componentes e respectivas quantidades estão perfeitamente definidos, numa seqüência lógica de produção e montagem.

Se a demanda é dependente, torna-se possível calcular com precisão os materiais necessários para atender a produção de algum produto final e, por extensão, de um Plano Mestre de Produção inteiro. Essa demanda está sob o controle das organizações produtivas, desde que os dados necessários estejam suficientemente corretos.

O conceito de demanda independente, como o próprio nome indica, não possui relação de dependência com outros itens. O produto final constitui um exemplo claro de demanda independente, enquanto as quantidades a serem produzidas são determinadas pelo mercado.

Neste caso a empresa não possui controle sobre a demanda, embora até possa influenciá-la. Mas existe todo um ferramental estatístico e técnicas de previsão de demanda com o objetivo de determinar, **o mais acertadamente possível**, a demanda do produto final.

Simplificadamente, as necessidades brutas correspondem à demanda por qualquer item **sem** que sejam deduzidos o estoque disponível e as ordens programadas em curso, sejam elas de compra ou de fabricação. As necessidades líquidas representam a diferença entre as necessidades brutas, deduzidos os estoques, e as respectivas ordens “em aberto”. O conceito de necessidades brutas e líquidas estão relacionados matematicamente abaixo:

$$N_L = N_B - \text{Estoques} - \text{Ordens Programadas}$$

Onde,

$$N_L = \text{Necessidades Líquidas (na unidade do item)}$$

$$N_B = \text{Necessidades Brutas (na unidade do item)}$$

Entretanto, outros fatores podem ser adicionados à fórmula anterior para torná-la mais completa, de acordo com a realidade do planejamento de chão-de-fábrica. O modelo mais completo seria:

$$N_L = N_b - \text{Estoques} - \text{Ordens Prog.} + \text{Ger. Sucata} + \text{Rendimento} + \text{Est. de Segurança (1)}$$

Onde,

Rendimento = considera uma parcela de material dispendida no rendimento do processo;

Geração de Sucata = considera uma quantidade adicional do item produzido, compensando as unidades segregadas pelo Controle da Qualidade;

Estoque de Segurança = representa uma quantidade de peças produzidas acima da necessidade para atender ao Plano Mestre. Esta quantidade deverá ficar disponível na fábrica para qualquer eventualidade e mesmo futuramente, considerando o *First in-First Out* (FIFO), atender futuros planos de produção como um estoque disponível.

No cálculo dos materiais através de estruturas de produto, a necessidade líquida do item “pai” é transferida como necessidade bruta dos itens “filhos”, sucessivamente, isso devido ao princípio da demanda dependente. A Figura 08 apresenta a estrutura de produto empregada num exemplo prático de cálculo de materiais.

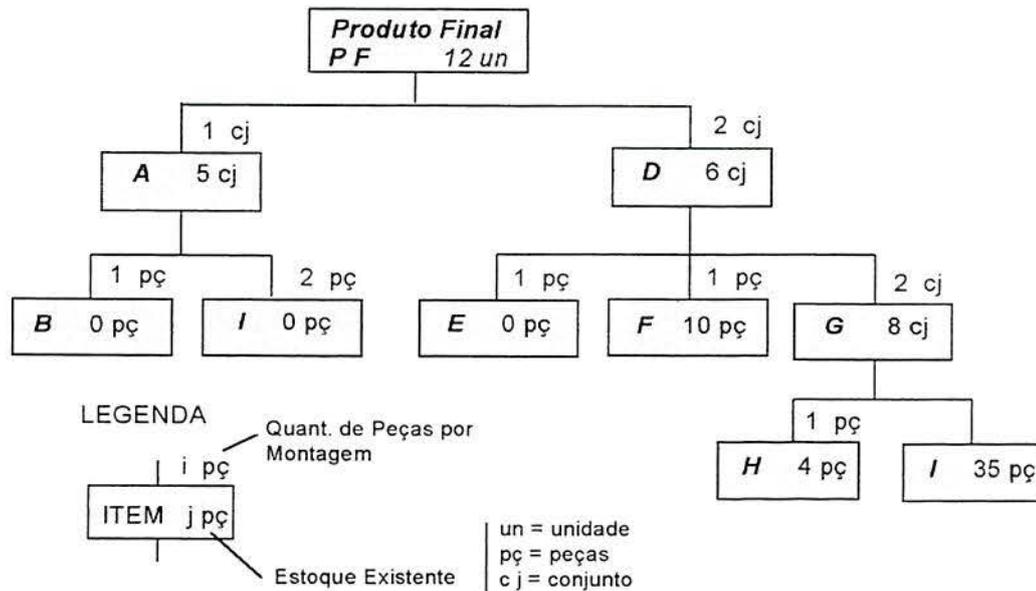


Figura 08. Estrutura para o Exemplo Prático de Cálculo de Materiais.

Para cada item deve existir uma unidade de medida correspondente. No exemplo acima, as peças são representadas pela sigla pç e correspondem aos itens individuais utilizados na produção dos conjuntos (cj). Os conjuntos representam montagens intermediárias. O produto final é registrado em unidades (un).

Dados:

- Previsão de Vendas = 50 unidades de P.F.;
- Pedidos em Carteira = 20 unidades de P.F.;
- Estoques de Segurança = inexistentes;
- Índice de refugos = 5% no processamento de G;
- Políticas de Lotes de Fabricação:
 - Item D lotes fixos de 20 unidades;
 - Demais itens lote a lote (de acordo com as necessidades líquidas);
- Ordens em aberto:
 - 40 unidades de G estão em processamento na fábrica;
- Somente serão admissíveis quantidades inteiras de peças ou conjuntos;

Objetivo: Calcular as quantidades de I e H para atender ao Plano Mestre e demais condições.

A solução para o problema segue a fórmula de cálculo de necessidades líquidas (1):

Plano Mestre de Produção (líquido) = Pedidos + Previsão - Estoque

$$\text{PMP} = 50 + 20 - 12 = 58$$

$$NB_A = 58 \text{ cj} \times 1 \text{ cj/montagem} = 58 \text{ cj}$$

$$NL_A = 58 \text{ cj} - 5 \text{ cj} = 53 \text{ cj}$$

$$NB_{I(LE)} = 53 \text{ pç} \times 2 \text{ pç/montagem} = 106 \text{ pç}$$

$$NL_{I(LE)} = 106 \text{ pç} - 0 \text{ pç} = 106 \text{ pç} - \text{ramo lateral esquerdo (LE)}$$

Pelo ramo lateral direito (LD), temos:

$$NB_D = 58 \text{ cj} \times 2 \text{ cj/montagem} = 116 \text{ cj}$$

$$NL_D = 116 \text{ cj} - 6 \text{ cj} = 110 \text{ cj}$$

Como o item D é produzido em lotes fixos de 20 unidades, serão processados 6 lotes de 20 cj o que equivale a 120 cj.

$$NB_G = 120 \text{ cj} \times 2 \text{ cj/montagem} = 240 \text{ cj}$$

$$NL_G = 240 \text{ cj} - 8 \text{ cj} - (40 \text{ cj} \times 0,95) = 194 \text{ cj}$$

A quantidade será insuficiente se for emitida uma ordem de 194 cj, pois existe a incidência de 5% de perda por fabricação de produtos defeituosos. Portanto, a ordem deve ser maior de forma a suportar a segregação.

$$NL^{(REAL)}_G = 194 \text{ cj} / 0,95 = 204,2105 \text{ cj} \text{ ou } \cong 205 \text{ cj (peças inteiras).}$$

$$NB_H = 205 \text{ pç} \times 1 \text{ cj/montagem} = 205 \text{ pç}$$

$$NL_H = 205 \text{ pç} - 4 \text{ pç} = 201 \text{ pç (Ordem de Compra de H)}$$

$$NB_{I(LD)} = 205 \text{ pç} \times 4 \text{ pç/montagem} = 820 \text{ pç}$$

$$NL_{I(LD)} = 820 \text{ pç} - 35 \text{ pç} = 785 \text{ pç}$$

Total de necessidades de I (ramos LD e LE) = 106 pç + 785 pç. = 891 pç (Ordem de Compra de I).

Algumas conclusões podem ser retiradas do exemplo anterior. O primeiro aspecto a chamar a atenção é que para uma estrutura simples, com apenas três níveis e nove itens, o cálculo é relativamente trabalhoso. Por extensão é possível afirmar que esse tipo de cálculo manual é inviável para uma situação real, onde as estruturas de produto são geralmente bem maiores e mais numerosas. Assim, admite-se a necessidade de alguma ferramenta computacional que, a partir de uma base de dados, proceda eletronicamente o cálculo das necessidades de materiais.

Se outro conceito, o de *Time Phasing* ou Escalonamento no Tempo, for aplicado em conjunto com a demanda dependente e o cálculo das necessidades líquidas, temos a lógica de planejamento de materiais dos sistemas do tipo MRPII.

As respectivas necessidades brutas são calculadas ao longo da estrutura dos produtos e alocadas no tempo, em *buckets* semanais ou diários como é o padrão desses sistemas. A partir do somatório das necessidades brutas em um determinado *bucket*, calculam-se as necessidades líquidas. A Tabela 03 demonstra como o MRPII procede o cálculo.

PERÍODOS (*BUCKETS*)

		1	2	3	4	5	TOTAL
NECESSIDADES BRUTAS				100 + 50		200	250
ORDENS PROGRAMADAS		20	20	10	10	50	110
ESTOQUE DE SEGURANÇA		20	20	20	20	20	20
QUANTIDADE DISPONÍVEL	100 (INICIAL)	100	120	-20	10	-140	-
(RECEBIMENTO DAS ORDENS PLANEJADAS) NECESSIDADES LÍQUIDAS				20		140	160

Tabela 03. Necessidades Líquidas de acordo com a Lógica dos Sistemas MRPII.

A Tabela 03 estabelece o item, a data de recebimento e a quantidade necessária capaz de suprir a demanda. Falta ainda determinar em que datas as ordens devem ser liberadas para o início de produção. O exemplo a seguir demonstra mais diretamente a conexão entre o cálculo de materiais e o *Time Phasing*. A Figura 9 apresenta a estrutura de produto A com o respectivo balanço de materiais resolvido.

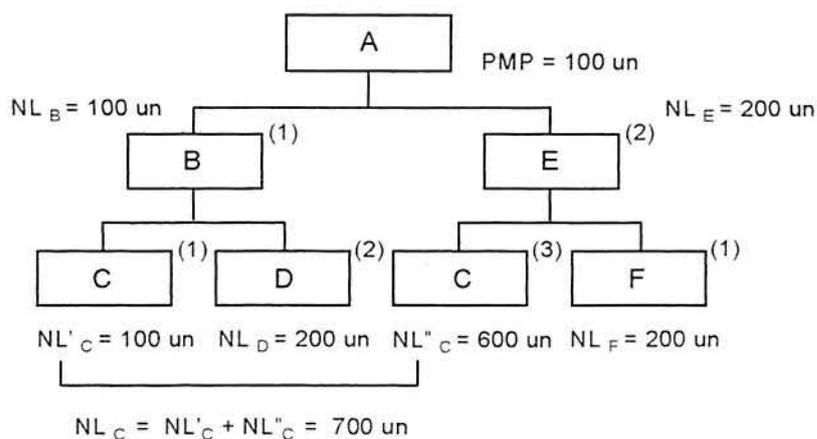


Figura 09. Cálculo de Materiais para *Time Phasing*

A Tabela 04 demonstra os requisitos de materiais escalonados no tempo. As datas de recebimento dos materiais e as correspondentes datas de liberação das ordens estão devidamente coordenadas com os *lead times* (estabelecidos na coluna da direita).

	<i>BUCKETS</i>	7	6	5	4	3	2	1	<i>LEAD TIME</i>
A	RECEBIMENTO DA ORDEM LIBERAÇÃO DA ORDEM						100	100	1 <i>BUCKETS</i>
B	RECEBIMENTO DA ORDEM LIBERAÇÃO DA ORDEM				100		100		2 <i>BUCKETS</i>
E	RECEBIMENTO DA ORDEM LIBERAÇÃO DA ORDEM				200		200		2 <i>BUCKETS</i>
C	RECEBIMENTO DA ORDEM LIBERAÇÃO DA ORDEM	600+100			600+100				3 <i>BUCKETS</i>
D	RECEBIMENTO DA ORDEM LIBERAÇÃO DA ORDEM			200	200				1 <i>BUCKETS</i>
F	RECEBIMENTO DA ORDEM LIBERAÇÃO DA ORDEM		200		200				2 <i>BUCKETS</i>

Tabela 04. Requisitos de Materiais Escalonados no Tempo

Segundo Orlicky (1975), o Planejamento dos Requisitos ou Necessidades de Materiais é um conjunto de procedimentos que, atendendo a um Plano Mestre de Produção (*Master Schedule*) de produtos acabados, submontagens maiores ou itens finais, transformada nas respectivas necessidades líquidas escalonadas no tempo para cada componente ou material, visam atender ao programa previsto. A definição pode ser bem compreendida com as análises e informações apresentadas nessa seção.

Convém comentar que existe a possibilidade da geração de ordens de compra ou fabricação extraordinárias ao PMP. As peças de reposição, por exemplo, não fazem parte do conjunto de produtos finais e não são dependentes da PMP, mas podem ser programadas normalmente. Basta que o planejador efetue o registro da demanda do item, quantidade e data de entrega para que o sistema proceda todos os cálculos de materiais e capacidade. Ordens para qualquer item também podem ser emitidas manualmente, a critério do planejador.

Por outro lado, a comparação entre os resultados do cálculo através da Lista de

Materiais e pela Estrutura de Produto demonstra que o primeiro método está sujeito a algumas imperfeições.

3.4.3. Diferenças no Cálculo de Materiais - Estrutura de Produto X Lista de Materiais

A Figura 10 apresenta a estrutura de um produto, genericamente denominado produto final, e o correspondente cálculo das necessidades líquidas de materiais para uma demanda de cinquenta unidades, conforme segue:

- a) Estoque de Segurança - A = 10 un; b) Ordens em aberto - F = 20 un;
 c) Lote mínimo - H = 60 un; d) Demanda de PF = 50 un.

$$N_L = Nb - \text{Estoques} - \text{Ordens Prog.} + \text{Ger. Sucata} + \text{Rendimento} + \text{Est. de Segurança}$$

A Tabela 02, Cálculo das Necessidades de Materiais pela Lista, na página 31, demonstra o cálculo das necessidades de materiais através desse método para o mesmo produto, componentes e condições.

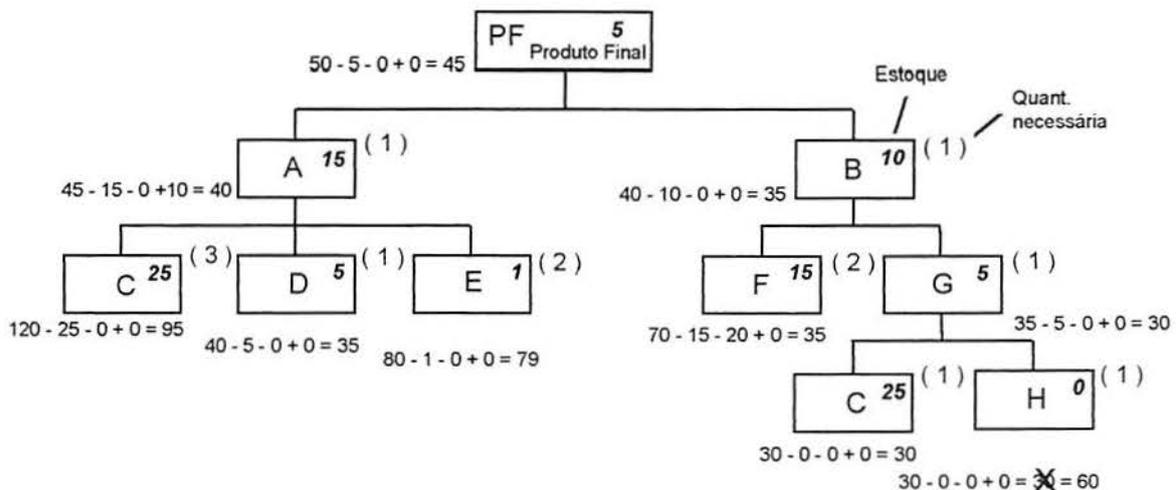


Figura 10. Estrutura e Cálculo de Materiais para o Produto da Tabela 02

Comparando os valores obtidos através do cálculo dos materiais pela lista e pela estrutura, é possível identificar divergências entre as respectivas quantidades. A Tabela 05, a seguir, apresenta essas divergências.

Item	Cálculo pela Lista (1)	Cálculo pela Estrutura (2)	Divergências (1) - (2)
C	155	125	30
D	40	35	15
E	89	79	10
F	55	35	20
G	40	30	10
H	45	30	Não aparece devido ao lote mínimo.

Tabela 05. Divergências entre os Cálculos de Materiais

Analisando-se a tabela acima é possível constatar diferenças significativas entre as necessidades de materiais determinadas. A explicação para o problema pode ser encontrada no conceito de demanda dependente.

No cálculo realizado através da Lista de Materiais, verifica-se que a dependência é direta em relação ao produto final. Por outro lado, através da Estrutura de Produto, conclui-se que a dependência é considerada entre cada uma das relações “pai” e “filho”, sucessivamente até o produto final. As necessidades líquidas dos itens “pai” são corretamente transferidas aos itens “filhos” como necessidades brutas. No item C, no ramo lateral esquerdo da árvore de produto, observa-se que a necessidade bruta corresponde às necessidades líquidas do item “pai” A, que é de 40 unidades. Já pelo método da Lista de Materiais, a necessidade bruta de C depende diretamente do produto final e, portanto, equivale a 45 unidades.

Como foi demonstrado, o cálculo de materiais pela Lista apresenta algumas imperfeições e tende a gerar algum aumento do material em processo no sistema produtivo. Por outro lado, o cálculo de materiais pela Estrutura não é possível sem um sistema informatizado relativamente complexo e caro. Por esse motivo, o cálculo através da Lista de Materiais ainda é a única ou melhor opção para muitas empresas de pequeno porte.

Apesar de não existirem maiores restrições técnicas e tecnológicas, na prática as empresas enfrentam dificuldades para determinar corretamente as quantidades de materiais a serem produzidas ou compradas. Os problemas variam entre a obtenção e a manutenção de uma

base de dados confiável, controle da produção deficiente, falhas na determinação do plano mestre de produção e falta de ferramentas computacionais adequadas, etc.

Avaliando o aspecto base de dados, por exemplo, o cadastramento e a atualização dos dados relativos aos itens, estruturas de produto ou listas, representam um trabalho considerável e são, normalmente, fonte de problemas. Novos itens não cadastrados mas em uso na fábrica, estruturas de planejamento incorretas, utilização de itens alternativos sem as respectivas providências, inexistência de índices coerentes quanto aos rendimentos de processo ou geração de não conformes, etc são algumas das ocorrências mais comuns.

O próprio controle dos estoques, desde as matérias-primas até o produto acabado representa um problema complexo.

Os estoques representam uma das informações fundamentais no momento do cálculo das necessidades de materiais, podendo facilmente ocasionar faltas e excessos de materiais. Embora muitas vezes a falta de acurácia comece no próprio almoxarifado de matérias primas, o controle dos materiais em transformação é bem mais complicado.

A fábrica é um ambiente muito dinâmico onde a todo momento componentes são consumidos e itens de nível superior são produzidos, representando uma infinidade de baixas e inclusões no controle de estoque de produtos intermediários. As falhas de origem humana são comuns, muitas vezes causadas por uma cultura que prioriza a cobrança forte do volume de produção, relegando o aspecto de controle dos materiais em processo a um segundo plano.

Em muitos ambientes fabris o controle manual do material em processo é inviável técnica e/ou economicamente, devido ao volume, velocidade da produção e custo-da-mão de obra. Soluções como a aplicação de código de barras em sistemas informatizados de controle têm sido cada vez mais aplicados. Mais modernamente as transações de baixa e entrada de materiais podem ser totalmente automatizadas, com a aplicação de Controladores Lógicos Programáveis (CLP's).

O Plano Mestre de Produção pode ser outra origem de problemas no planejamento de materiais. Em tese, o PMP deve ser estabelecido de forma a atender, da melhor forma possível, a demanda dos clientes; esse é o objetivo do sistema como um todo. A maioria das empresas estabelece o seu Plano Mestre com base em pedidos e previsões de vendas, onde o fator previsão é muito problemático, especialmente nas economias mais instáveis. Sabe-se que, na prática, até os pedidos sofrem alterações de última hora. Se o plano for concluído preservando-

se o planejamento inicial, haverá a produção de itens sem colocação com a imobilização de mais capital. É uma situação não muito recomendável sob o aspecto de competitividade em nível mundial, sem comentar o custo do dinheiro com as taxas de juros praticadas no Brasil. Por outro lado, se o plano em andamento for cancelado haverá sobras de materiais intermediários sem aplicação imediata e maior desbalanceamento nas matérias primas, peças e componentes necessários ao novo plano.

A coleta de dados estatísticos sobre consumos, produção e fornecimento é também invariavelmente pobre, impossibilitando a análise e a aplicação dessas informações na reposição de materiais. O emprego dos métodos de Ponto de Pedido e Reposição Periódica é especialmente afetado por essa deficiência, assim como a determinação dos estoques de segurança.

Finalmente, a crescente complexidade dos sistemas produtivos aliada à necessidade, cada vez maior, de eficiência e agilidade exigem que o planejamento, a programação e o controle sejam realizados com o auxílio de ferramentas computacionais. Em muitas empresas a eficiência do processo produtivo é seriamente comprometida pelos limites impostos pela gestão manual auxiliada somente por planilhas eletrônicas. Portanto, é indispensável conhecer as ferramentas disponíveis no mercado, o que elas podem oferecer, suas limitações e adaptações necessárias ao ambiente da empresa, a partir de onde devem ser construídas as soluções próprias. Abordar essas questões é um dos objetivos deste trabalho.

Discutido o problema da determinação dos requisitos de materiais (**o que** comprar ou fabricar) e as respectivas quantidades (**o quanto**) para atender ao Plano Mestre, é possível passar para a questão maior no planejamento e programação: a análise da capacidade produtiva necessária. Como já foi comentado no capítulo 2, O Problema Geral do Planejamento de Produção, é uma questão que enfrenta limitações tecnológicas, operacionais, práticas e até mesmo de processamento eletrônico. O Capítulo 4, a seguir, vai discutir mais detalhadamente a questão, inclusive com um enfoque mais voltado às lógicas de cálculo de capacidade dos sistemas MRPII e de Planejamento Fino de Produção.

CAPÍTULO 4

O PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE

A consideração da capacidade produtiva para atender os planos de produção é, seguramente, o maior problema do planejamento da manufatura. A programação consiste na determinação e sequenciamento das tarefas relativas a cada máquina, definindo quando as tarefas devem iniciar e terminar, sempre visando alguma medida de desempenho. Esse conceito de programação só faz sentido se o programa gerado for exequível do ponto-de-vista da capacidade. Existem duas abordagens principais quanto a consideração da capacidade: infinita e finita.

Os sistemas de planejamento de produção com capacidade infinita realizam a programação desconsiderando o problema de capacidade dos centros de trabalho, origem da própria denominação. Isso equivale à execução exclusiva do cálculo dos materiais necessários, ignorando se os centros de trabalho suportam a execução das ordens de fabricação emitidas nas datas desejadas, representando uma grande probabilidade de que haja total descontrole quanto à execução dos trabalhos dentro da fábrica e, conseqüentemente, quanto as datas de entrega.

Os sistemas do tipo finito se utilizam de algoritmos que executam a alocação de carga nos recursos em intervalos de tempo, os quais são preenchidos com a capacidade necessária através do escalonamento das atividades ou de forma seqüencial, ordem por ordem. Esses intervalos de tempo são chamados de *Time Buckets* ou “baldes” de tempo. Os *Time Buckets* podem ser de dois tipos:

a) *buckets* discretos, representados por períodos fixos de tempo como um dia ou uma semana, por exemplo. Os sistemas que utilizam *buckets* discretos são menos complexos, porém seus resultados são também menos precisos. Há a possibilidade de se determinar um sequenciamento para as ordens dentro dos respectivos períodos de tempo em que foram alocadas, priorizando as ordens segundo alguns critérios como data de entrega, tamanho dos lotes, redução das perdas por *setup* e importância dos pedidos, e outros. Não há como proceder um sequenciamento global visando o desempenho do sistema produtivo como um todo. No MRPII, por exemplo, o *bucket* de tempo é igual a um dia (de 8, 16, até 24 h, conforme o regime de operação dos equipamentos).

b) *buckets* contínuos, que realizam o carregamento em intervalos curtíssimos de tempo, como a cada minuto por exemplo. A utilização de *buckets* contínuos obriga a uma avaliação contínua do aspecto sequenciamento durante todo o processamento do carregamento, assim o sistema pode prever com mais precisão o momento de início e de término de cada ordem, em todas as etapas do roteiro de fabricação. É importante enfatizar que o roteiro de fabricação constitui uma série de eventos dependentes e, portanto, somente uma avaliação mais precisa em cada etapa do processo de produção pode conduzir a uma simulação razoável do que deve acontecer no chão-de-fábrica. Seus resultados são muito superiores, mas sua implantação e manutenção são bem mais complexas, demandando um volume maior de dados e uma grande capacidade de processamento. Os sistemas que se utilizam de *buckets* contínuos permitem, através do sequenciamento integrado das ordens de produção, a busca de algum índice de performance do sistema como um todo.

A rigor, um sistema de capacidade finita deveria ser do tipo contínuo. A utilização de *Time Buckets* discretos, embora menos precisa, simplifica o problema e, muitas vezes, viabiliza a execução do planejamento. Entretanto, as prováveis distorções que vão ocorrer dentro dos intervalos discretos mascaram a real capacidade dos recursos e, por extensão, do sistema produtivo inteiro. A situação hipotética representada na Figura 11, ilustra alguns dos problemas que podem acontecer com *buckets* grandes de um dia com 16 horas, por exemplo.

Ordens a serem processadas no dia :	Tempo total por ordem (h)	Equipamento: Centro de Usinagem Código do Equipamento: 011
500010	3,0	Regime de 2 Turnos de 8 horas Total Horas Disponíveis: 15,5 h / dia
500011	4,0	
500012	3,5	
500013	4,5	

Capacidade necessária no dia = 15,0 horas

Capacidade do *bucket* = 15,5 horas

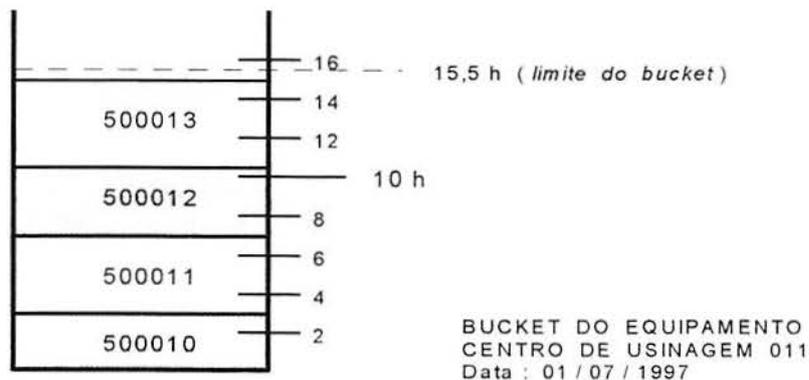


Figura 11. Alocação de Ordens em Grandes *Buckets*.

Analisando-se a situação proposta, a expectativa é que não ocorram problemas de capacidade. Entretanto, se por problema de sincronização na fábrica um ou mais lotes atrasarem sua chegada no centro de trabalho, não haverá capacidade suficiente. A Figura 12 apresenta graficamente a situação descrita acima.

Não sendo tomada uma providência, como por exemplo, a compensação em horário extraordinário, o atraso será transferido para as operações seguintes. Outras tantas variabilidades, comuns no chão-de-fábrica, podem causar o mesmo efeito. As distorções entre o planejado e o executável se reduzem à medida em que os *buckets* de tempo são diminuídos. Se a programação fosse realizada hora a hora, por exemplo, o sistema já poderia acusar as diferenças entre o horário previsto de conclusão da operação anterior e o de início da operação seguinte, ocorridos com as ordens 500010 e 500012.

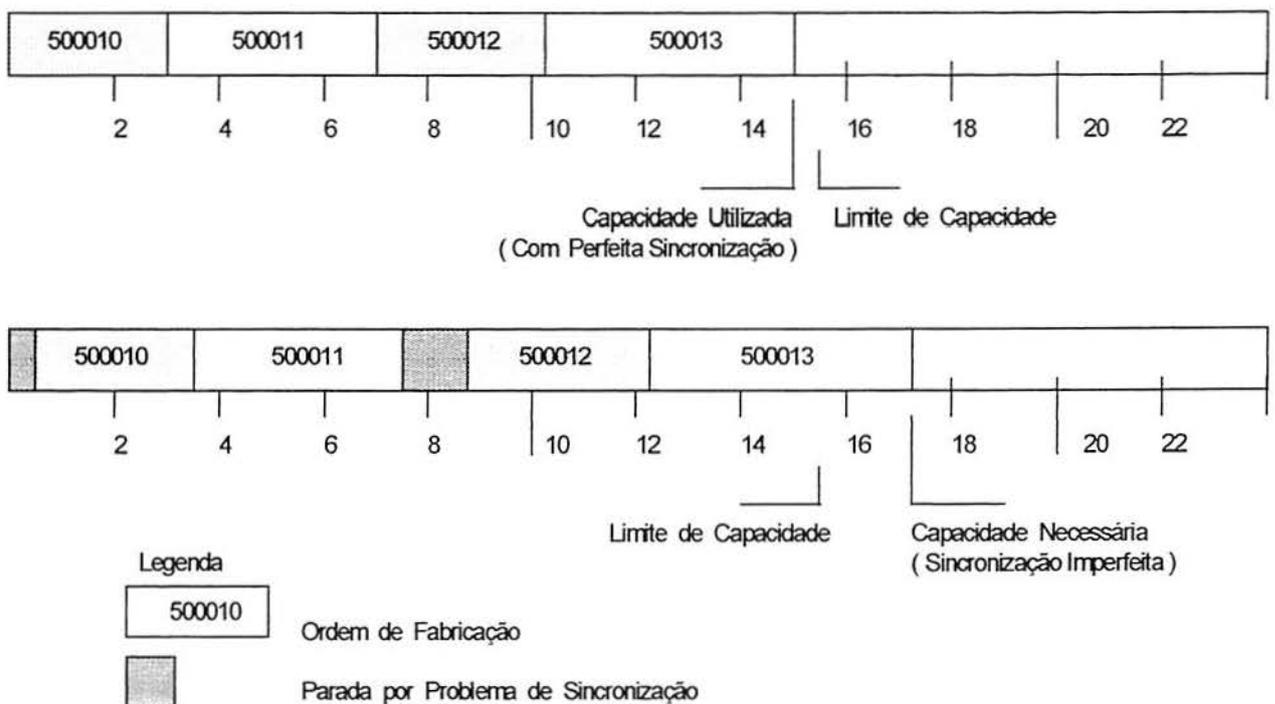


Figura 12. Programação Planejada e Real.

No sistema de *Time Buckets*, os algoritmos vão preenchendo os intervalos de tempo no sentido *backward* ou *forward*, conforme o caso. Se alguma operação não encontra tempo suficiente em um *bucket*, o algoritmo procura o próximo disponível, de acordo com o sentido do escalonamento, e assim sucessivamente. O escalonamento é realizado ordem por ordem, de

acordo com algum critério de ordenação, como por exemplo a data de entrega. No caso, as ordens com data de entrega mais cedo são escalonadas primeiro, enquanto as ordens prometidas para um futuro mais distante são escalonadas depois. Provavelmente existirão várias ordens com uma mesma data de entrega, mas outros critérios complementares atuarão como regra de desempate. A seqüência numérica atribuída ao pedido do cliente pode ser o registro utilizado para esse fim.

Certas decisões podem extrapolar a capacidade de decisão do algoritmo e, portanto, são transferidas ao usuário. Um caso típico acontece no módulo *Capacity Requirements Planning* dos sistemas MRPII, quando o CRP acusa a existência de *overloads* ou sobrecargas nos centros de trabalho. Cabe ao programador encontrar uma solução para os conflitos de capacidade lançando mão de:

- a) horas extras;
- b) terceirização de serviços;
- c) utilização de roteiros alternativos;
- d) agrupamento de lotes e redução dos tempos gastos com *setup*;
- e) negociação com o cliente e alteração do plano mestre;
- f) outras soluções.

Na prática, as empresas sempre realizam algum tipo de avaliação de capacidade que varia, na grande maioria, entre avaliações mais ou menos precisas. Um termo comumente utilizado para avaliações de capacidade pouco precisas é *rough cut capacity*, em português avaliação bruta de capacidade. Conforme será apresentado a seguir, os métodos de cálculo com precisão inferior à do CRP são enquadrados na categoria bruta. Os sistemas de Planejamento Fino da Produção são enquadrados numa categoria conhecida como sistemas capacidade finita. As diferenças entre o *Capacity Requirements Planning* do MRP e os *sistemas Finite Capacity Schedule* serão melhor compreendidas no capítulo 5, Os Sistemas de Planejamento Fino da Produção e o Carregamento FCS.

4.1. Técnicas de Cálculo de Capacidade

O trabalho publicado por Berry et al. (1982) representa uma importante contribuição ao estudo dos métodos de cálculo de capacidade, desde técnicas do tipo *rough cut* até o módulo

CRP. A seguir, essas técnicas serão apresentadas e comentadas através de exemplos numéricos. São elas:

- a) *Capacity Planning Using Overall Factors (CPOF)*;
- b) *Capacity Bills*;
- c) *Resource profiles*.

Os cálculos de capacidade serão executados considerando um sistema produtivo composto de três centros de trabalho, denominados pelos números CT100, CT200 e CT300. A fábrica produz dois produtos representados pelos códigos “A” e “B”, onde :

“A” - consome 0,95 h/un de processamento ao longo de todo o processo de produção;

“B” - consome 1,85 h/un de processamento ao todo.

O Plano Mestre de Produção para os períodos entre 01 até 05 está expresso na Tabela 06, a seguir.

PERÍODOS / PRODUTOS	1	2	3	4	5
A	40	40	50	45	45
B	25	25	20	40	40

Tabela 06. Planos Mestre de Produção Utilizados no Exemplo

4.1.1. *Capacity Planning Using Overall Factors*

A técnica CPOF (*Capacity Planning Using Overall Factors*) utiliza os dados históricos de carregamento dos centros de trabalho para projetar a capacidade futura. Os tempos agregados de processamento, juntamente com o Plano Mestre de Produção, determinam o total de horas de trabalho necessárias, as quais são distribuídas nos centros de trabalho mediante o percentual histórico de carregamento.

A Tabela 07 apresenta o comportamento histórico do carregamento dos centros de trabalho ao longo de quatro trimestres.

Trimestres	1	2	3	4	Total/Centro	Percentual
<i>Centros</i>						
<i>CT100</i>	125	90	150	140	505	60,3
<i>CT200</i>	55	60	80	60	255	30,40
<i>CT300</i>	18	15	20	25	78	9,30
Total Geral					838	100,00

Tabela 07. O Histórico de Carregamento

A projeção de horas necessárias é obtida através de um rateio do valor total de horas necessárias. No primeiro período, por exemplo, o PMP prevê a produção de 40 unidades de “A” e 25 unidades de “B”. Se cada unidade de “A” necessita de 0,95 horas de máquina para processamento (valor agregado) e “B” de 1,85 horas, é possível calcular o total de horas pela simples multiplicação das quantidades pelos respectivos tempos. A Tabela 08 apresenta o cálculo do total de horas por período.

	1	2	3	4	5
A - 0,95 h/un	40un X 0,95h/un	40un X 0,95h/un	50un X 0,95h/un	45un X 0,95h/un	45un X 0,95h/un
B - 1,85 h/un	25un X 1,85h/un	25un X 1,85h/un	20un X 1,85h/un	40un X 1,85h/un	40un X 1,85h/un
TOTAL HORAS (A + B)	84,25	84,25	84,50	116,75	116,75

Tabela 08. Valor Total Agregado de Horas

O rateio das horas é obtido pela aplicação dos percentuais históricos de utilização dos equipamentos, calculados na Tabela 07. A Tabela 09 finaliza o processo de cálculo desdobrando a capacidade total por período.

O método *Overall Factors* constitui uma técnica de avaliação bruta da capacidade. Representa apenas uma aproximação grosseira que desconsidera completamente a questão do *mix* de produção. A utilização histórica dos centros de trabalho é determinada pelo conjunto de produtos produzidos em cada período; quanto maior for a diferença entre o *mix* passado e o futuro, maior será a distorção do cálculo. Em outras palavras, a técnica se presta para a

avaliação de capacidade em situações onde não existe muita variação no *mix* de produção. Considerando o fato de que a CPOF utiliza valores agregados de horas por produto e a sua precisão, é possível afirmar que essa técnica é mais adequada às avaliações relativas ao planejamento de longo prazo.

CAPACIDADE NECESSÁRIA POR PERÍODO

CENTRO	(%) HISTÓRICO DE CARGA	1	2	3	4	5
TOTAL	100	84,25	84,25	84,50	116,75	116,75
CT100	60,3	50,80	50,80	50,95	70,40	70,40
CT200	30,4	25,61	25,61	25,69	35,49	35,49
CT300	9,3	7,84	7,84	7,86	10,86	10,86

Tabela 09. Cálculo da Capacidade pela Técnica CPOF

4.1.2. Capacity Bills

A técnica *Capacity Bills* representa um método de avaliação da capacidade do tipo *rough cut* largamente empregado, tornando sua análise bastante interessante. Consiste no cálculo do tempo necessário para processamento do lote, acrescido do correspondente tempo de preparação. A capacidade requerida, por um conjunto de ordens de fabricação, é comparada à disponível no *bucket* de tempo definido pelo analista.

Apesar de ser uma técnica de avaliação de capacidade bruta, a técnica *Capacity Bills* é bem mais precisa do que a CPOF. Por sua vez, requer um conjunto maior de informações considerando a estrutura do produto (itens necessários por montagem) e os roteiros de fabricação, de onde obtém os tempos de preparação, processamento e o tamanho dos lotes de fabricação. A Figura 13 apresenta a estrutura dos produtos “A” e “B”.

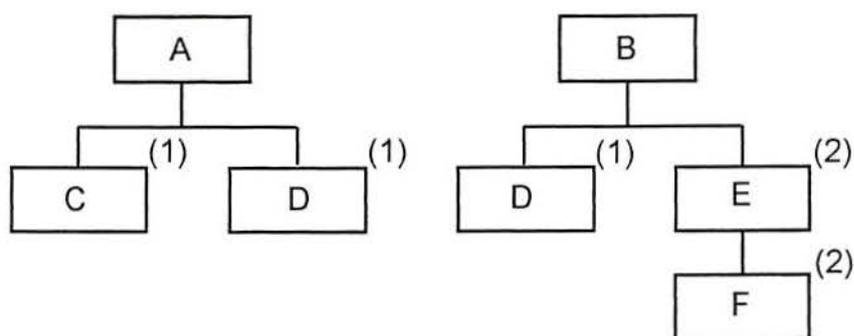


Figura 13. Estrutura dos Produtos “A” e “B”

A Tabela 10, abaixo, contém os roteiros de fabricação por ordem alfabética dos itens. A coluna Tp Total representa o tempo total de processamento requerido por unidade, obtido através da soma do Tp Proces. (tempo de processamento unitário) mais o Tp Prepar. (tempo de preparação) dividido pelos respectivos tamanhos dos lotes. O rateio padrão do tempo de preparação é usualmente obtido pela razão entre o tempo total de preparação e o tamanho do lote, onde uma parcela do tempo total de preparação é igualmente distribuída para cada peça do lote a ser fabricado.

Item	Operação	Centro	Tp Proces.	Tp. Prepar.	Lote	Tp Total
A	1 / 1	CT100	0,0250	1,0	40	0,050
B	1 / 1	CT100	1,2500	1,0	20	1,300
C	1 / 2	CT200	0,5750	1,0	40	0,600
	2 / 2	CT300	0,1750	1,0		0,200
D	1 / 1	CT200	0,0670	2,0	60	0,100
E	1 / 1	CT200	0,0800	2,0	100	0,100
F	1 / 1	CT200	0,0425	2,0	100	0,625

Tabela 10. Roteiros de Fabricação de “A” e “B”.

A partir dos tempos totais de processamento e das estruturas de produto é possível determinar a capacidade requerida por unidade de “A” e “B” em cada centro de trabalho. A Tabela 11 apresenta o total consolidado de capacidade necessária por centro de trabalho.

Centro	Capacidade / unidade	
	A	B
CT100	0,05	1,30
CT200	0,70	0,55
CT300	0,20	0,00
Total	0,95	1,85

Tabela 11. Capacidade Exigida por Centro de Trabalho

Por exemplo, cada unidade do produto “A” requer 0,70 unidades de tempo no centro de trabalho CT200. Observando-se a estrutura e o roteiro de “A”, verifica-se que os componentes “C” e “D” utilizam esse equipamento. O item “C” é fabricado em duas operações 1/2 e 2/2, sendo que a primeira etapa do roteiro se verifica no centro CT200 e consome 0,60 un. de tempo por peça. Já o componente “D” é produzido numa única operação 1/1 no CT200, consumindo 0,10 un. de tempo por unidade. Portanto, a soma das capacidades exigidas por “C” (0,6 un. de tempo) e “D” (0,10 un. de tempo) no centro de trabalho CT200 é de 0,70 un de tempo por unidade produzida.

Por outro lado, cada unidade de “B” requer 0,55 un. de tempo de capacidade no equipamento CT200. Todos os itens empregados na montagem de “B” (“D”, “E” e “F”) são processados no CT 200 em uma única etapa 1/1, o que pode ser evidenciado na tabela 10. A capacidade requerida no CT 200, por unidade de “B” produzida, é calculada de acordo com a soma abaixo.

Item	Quant		Tp /un		Tp Total/item
“D”	01	X	0,1000	=	0,1000
“E”	02	X	0,1000	=	0,2000
“F”	04	X	0,0625	=	0,2500
			Soma :		0,5500

A lógica de cálculo é a mesma do exemplo anterior, apenas é necessário atenção para o

detalhe das quantidades requeridas de “E” e “F”. Cada unidade de “B” necessita de duas unidades de “E”, que por sua vez requer duas unidades de “F”. Portanto, os requisitos de “E” e “F” são 2 e 4 peças, respectivamente, para que se possa realizar a montagem de uma unidade de “B”.

A Tabela 12 apresenta o cálculo detalhado da capacidade necessária para os períodos 1 e 2, de acordo com o *mix* real de produção que é de 40 unidades de “A” e 25 de “B”. Nessa tabela o tempo total de processamento (TpTotal) está expresso em horas e o *bucket* adotado é de uma semana, com 40 horas de trabalho disponíveis.

Comparando-se a capacidade disponível e a necessária, temos que nas semanas 01 e 02 o centro de trabalho CT200 apresenta uma sobrecarga de 1,75 horas que deve ser absorvida de alguma forma, como por exemplo através do emprego de horas extraordinárias. Já o CT100 apresenta uma ocupação de 86,26% da sua capacidade, o que pode ser considerada boa, enquanto o CT 300 tem uma ociosidade exagerada de 80% da sua capacidade.

Centro	Tp Total “A”	Tp Total “B”	“A”	“B”	“A + B”	Horas Disponíveis
CT100	0,05	1,30	$0,05 \times 40 = 2,00$	$1,30 \times 25 = 32,50$	34,50	40
CT200	0,70	0,55	$0,70 \times 40 = 28,0$	$0,55 \times 25 = 13,75$	41,75	40
CT300	0,20	0,00	$0,20 \times 40 = 8,00$	$0,00 \times 25 = 0,00$	8,00	40
Total :	0,95	1,85	38,00	46,46	84,25	120

Tabela 12. *Capacity Bills* Detalhada

A Tabela 13 apresenta o condensado da capacidade requerida por centro em cada período, de acordo com o método *Capacity Bills*. Assim como na tabela anterior, as horas de utilização dos equipamentos são obtidas pela simples multiplicação do PMP, por período, pelos valores determinados na Tabela 11, Capacidade Exigida por Centro de Trabalho. A coluna da direita mostra o cálculo do percentual de rateio das horas exigidas por centro, exatamente da mesma forma como foi calculado na Tabela 07. O Histórico de Carregamento.

PERÍODOS / CAPACIDADE NECESSÁRIA

CENTRO	1	2	3	4	5	% CARGA
CT100	34,50	34,50	28,50	54,25	54,25	42,34
CT200	41,75	41,75	46,00	53,50	53,50	48,61
CT300	8,00	8,00	10,00	9,00	9,00	9,04
TOTAL :	84,25	84,25	84,50	116,75	116,75	100

Tabela 13. Capacidade pelo Método *Capacity Bills*

Uma vez realizada a apresentação do método *Capacity Bills*, é possível estabelecer uma análise comparativa com a técnica *Capacity Planning Using Overall Factors*.

Em primeiro lugar é possível afirmar que a técnica *Capacity Bills* é, de um modo geral, adequada para *buckets* maiores como semanais ou mensais. É certo que, devido as variabilidades existentes no chão-de-fábrica e ao próprio escalonamento das operações, não é possível garantir que todas as operações sejam executadas exatamente dentro de um mesmo *bucket*. Na realidade operações e até mesmo ordens inteiras previstas como dentro de um mesmo período se misturam com o seguinte e assim sucessivamente. Esse efeito constitui um desvio que pode ser “alavancado” se o analista tentar executar, por exemplo, cálculos diários de capacidade segundo o PMP em sistemas produtivos onde os *lead times* são proporcionalmente longos. Por outro lado, o raciocínio básico da técnica é perfeitamente aplicável ao cálculo de saturação de um determinado equipamento, quando procuramos analisar as ordens a ele atribuídas num determinado dia. No caso, existe o pressuposto de que o conjunto das ordens de fabricação atribuídas ao centro de trabalho já são conhecidas. Então, a capacidade necessária é calculada pela multiplicação da quantidade expressa em cada ordem pelo tempo total de processamento do item correspondente (T_p Total da Tabela 10 Roteiros de Fabricação de “A” e “B”) que compreende o tempo de processamento unitário mais o rateio de *setup* por peça.

O método de cálculo *Capacity Bills* não utiliza a lógica de escalonamento das atividades no tempo, o que reforça as colocações acima. Para que se faça uma análise mais detalhada da

capacidade, seria necessário identificar, em períodos curtos de tempo, quais serão as tarefas ou ordens atribuídas a cada centro de trabalho.

O aspecto de sincronização da produção pode causar distorções nas avaliações de capacidade através dos efeitos de ociosidade e retardamento das operações. A técnica *Capacity Bills* é sensível a esse problema. O fluxo descoordenado de materiais pode causar paradas por falta de abastecimento, assim como sobrecargas de ordens que excedem a capacidade disponível num determinado momento. As paradas diminuem a capacidade disponível dentro do período de tempo analisado. Além disso, o atraso tende a deslocar as operações restantes para fora do *bucket*. É importante lembrar que, em geral, os roteiros representam um conjunto de eventos dependentes. Por sua vez, os *overloads* resultam essencialmente no retardamento das operações posteriores, podendo ainda gerar outras paradas por falta de material.

Uma comparação entre os resultados obtidos através das técnicas CPOF e *Capacity Bills* permite algumas conclusões adicionais. A Tabela 14 confronta o percentual de carregamento histórico dos centros de trabalho, empregado no método CPOF, com o percentual de carregamento resultante da técnica *Capacity Bills*.

Percentuais de Carregamento

Centros de Trabalho	C.P.O.F. (1)	CAPACITY BILLS (2)	Diferenças (1) - (2)
CT100	60,26	42,34	17,92
CT200	30,43	48,61	- 18,18
CT300	9,31	9,04	0,27
Total	100,00	100,00	--

Tabela 14. Percentuais de Carregamento

A Tabela acima aponta diferenças significativas entre as previsões de carregamento obtidas pelas duas técnicas. O método *Capacity Bills* apresenta um carregamento 18,18 % maior no CT200, enquanto os centros de trabalho CT100 e CT300 apresentam, respectivamente, carregamentos de 17,92 % e 0,27 % inferiores aos estimados pelo CPOF. A origem dos desvios

está essencialmente no *mix* de produção histórico, a partir do qual foi estimado o percentual de rateio utilizado na distribuição da carga nos centros de trabalho. Os planos de produção para os períodos 1 a 5 compõem um *mix* bastante diferente daqueles praticados no ano anterior, gerando um desvio considerável.

Considerando a complexidade para a execução do escalonamento das atividades no tempo, é possível afirmar que a técnica *Capacity Bills* representa quase que o limite das possibilidades de cálculo manuais ou auxiliados por planilhas eletrônicas. Talvez por essa razão seja tão empregado na prática. A técnica *Resources Profiles*, que será discutida a seguir, introduz o conceito de escalonamento das operações no tempo. Representa um avanço significativo sob o ponto de vista de precisão mas, em contrapartida, é consideravelmente mais complexa de operacionalizar.

4.1.3. *Resource Profiles*

A técnica *Resources Profiles* utiliza o conceito do *time phasing* de acordo com a seqüência das operações nos centros de trabalho. Os *lead times* de cada operação são computados de forma a determinar exatamente em que *bucket* o processamento deve se realizar. O somatório das operações escalonadas em um mesmo período representa o carregamento do centro de trabalho naquele *bucket*.

Para efeito de simplificação, os *lead times* de todas as operações serão fixos e igual a um período. A Figura 14 apresenta a estrutura de operações até o produto final, escalonadas período a período, de acordo com os roteiros apresentados na Tabela 10, Roteiros de Fabricação de “A” e “B”.

A partir do *time phasing* das operações, apresentado na Figura 14, é fácil entender como o cálculo do carregamento se processa. Por exemplo, o Plano Mestre para o quinto período é de 45 unidades de “A” mais 40 de “B”. Para avaliar a capacidade requerida por período, basta multiplicar os tempos da estrutura de operações acima pelas respectivas quantidades de “A” e “B”. O Plano Mestre do quinto período demanda capacidade disponível no terceiro e quarto períodos, justamente porque agora as operações estão devidamente escalonadas. Naturalmente todos os demais PMP's distribuem os requisitos ao longo dos diversos intervalos, sendo que os planos de produção dos períodos 1 e 2 distribuem seus requisitos de capacidade fora do horizonte analisado. No caso, ocorrerão demandas de capacidade em até dois períodos antes do inicial identificado como 01.

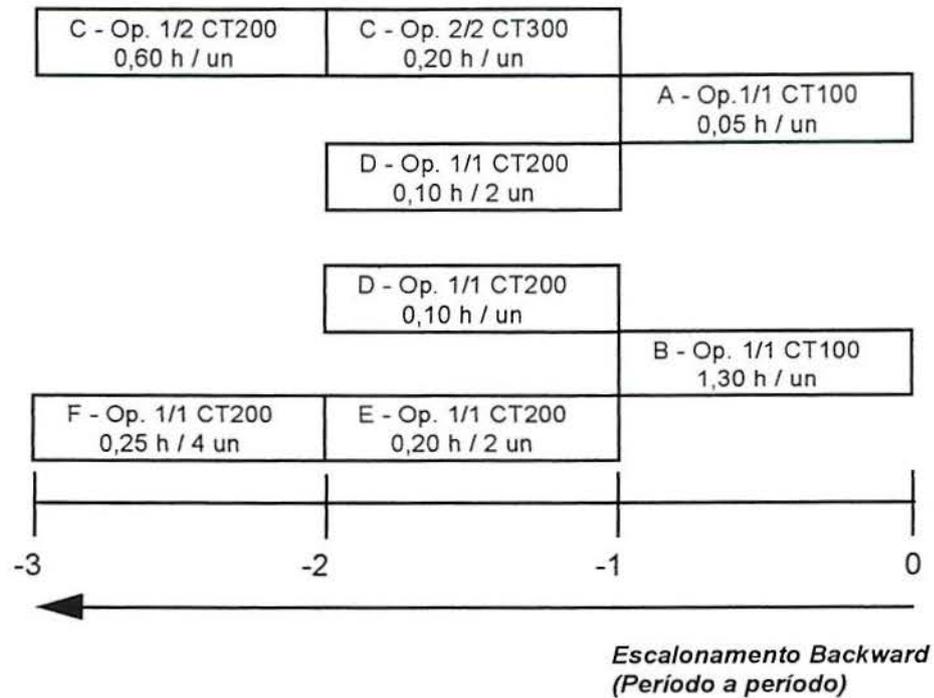


Figura 14. Escalonamento das Operações

A Tabela 15 demonstra detalhadamente como se processa o cálculo dos requisitos de capacidade para plano do período cinco.

PERÍODOS		3	4	5
Produto "A"	CT 100			45 x 0,05
	CT200	45 x 0,60	45 x 0,10	
	CT300		45 x 0,20	
Produto "B"	CT100			40 x 1,30
	CT200	40 x 0,25	40 x 0,30	
	CT300			
CAPACIDADE "A" + "B"				
	CT 100			54,25
	CT200	37,00	16,50	
	CT300		9,00	

Tabela 15. Capacidade pelo Método *Resource Profiles*

O fato do método *Capacity Bills* acumular toda a demanda de capacidade sempre em um único *bucket* representa uma simplificação grosseira quando os períodos de análise são muito curtos. Quando o período é grande, um mês por exemplo, muitas vezes o centro de trabalho será solicitado dentro desse mesmo intervalo. Por outro lado, a conclusão de ordens logo no início do *bucket*, mesmo que o intervalo seja grande, sugere que parte da capacidade necessária foi exigida no(s) período(s) anterior(es). O efeito inverso acontecerá no final de um *bucket* grande, onde parte da capacidade já estará sendo gasta para atender ao plano do período seguinte.

A técnica *Resource Profiles* se aproxima bastante do modo de operação do módulo *CRP* (*Capacity Requirements Planning*) dos sistemas MRPII. Essencialmente, a grande diferença reside no cálculo das necessidades de materiais previamente realizado pelo módulo *MRP* (*Materials Requirements Planning*), que determina as ordens de fabricação a partir das quais os requisitos de capacidade serão escalonados. A seção 4.2 discute, mais detalhadamente, a lógica de funcionamento do *CRP*.

4.1.4. Correlação de Capacidade

A Correlação de Capacidade não constitui exatamente uma técnica de cálculo de capacidade, mas sim um procedimento prático bastante utilizado para a análise da viabilidade dos programas de produção. Essa razão torna a sua apresentação interessante.

A Correlação de Capacidade é mais adequada a sistemas produtivos repetitivos, especialmente àqueles destinados à produção em escala. A lógica geral consiste em mobilizar a capacidade entre processos seqüenciais através dos equipamentos envolvidos, considerando as respectivas capacidades horárias de produção. A forma como se procedem os ajustes de capacidade pode ser mais facilmente entendida com um exemplo. A Figura 15 apresenta três setores produtivos de uma fábrica tradicional, com as respectivas capacidades horárias de produção, distribuídos em um *layout* funcional.

Os centros de trabalho CT 01 a 05 abastecem as linhas de montagem LM01 e LM02, mais as processadoras PR01 a 04. As seguintes correlações poderiam ser realizadas, de forma a ajustar a programação dos centros de trabalho:

a) os CT's 04 e 05 serão mobilizados para atender às linha 01 e 02; entretanto, suas capacidades somadas ainda são insuficientes;

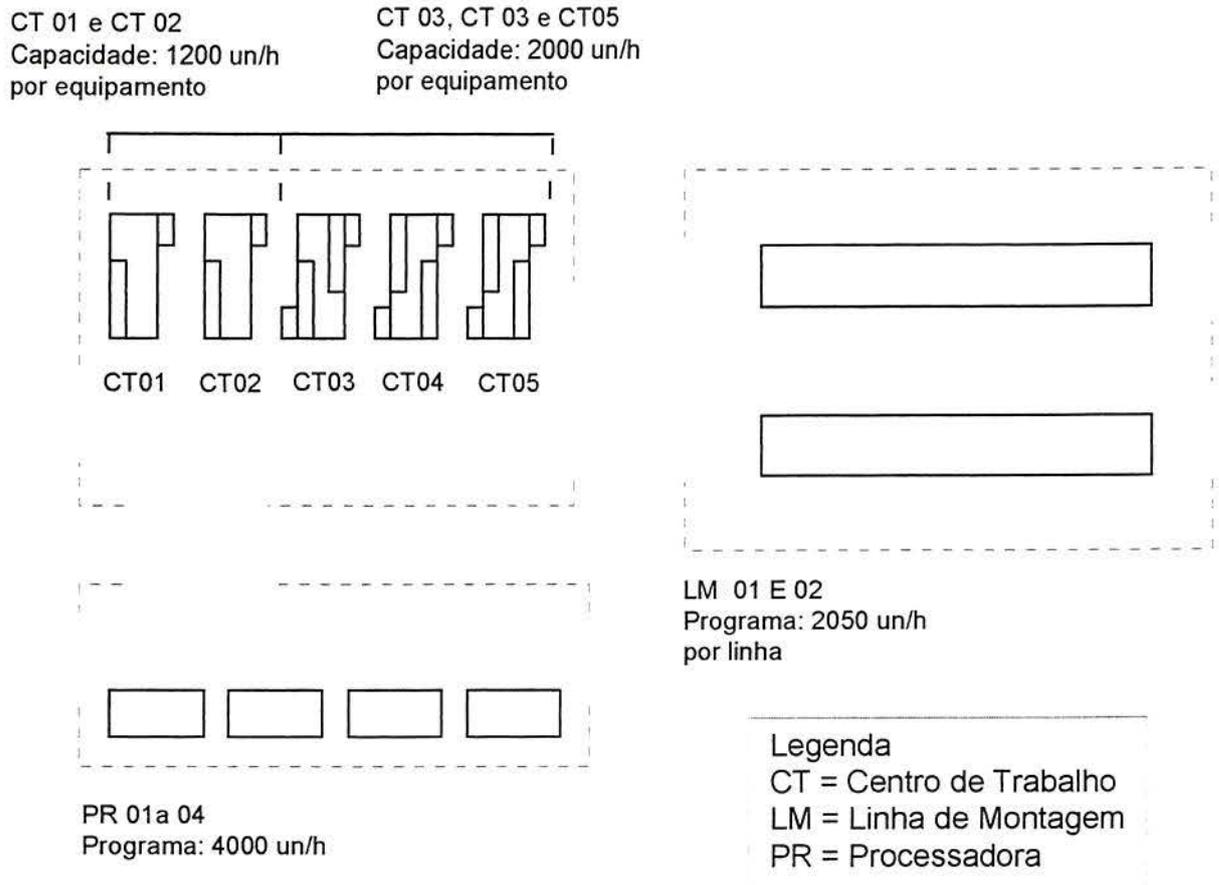


Figura 15. *Layout* e Capacidades Horárias de Produção.

b) os CT's 01 a 03 deverão atender às processadoras PR 01 a 04, o que podem fazer com certa folga de capacidade (4.400 peças/hora), devendo ser aproveitada no abastecimento das linhas de montagem.

Detalhando melhor a correlação b), os centros de trabalho CT 01 e 03 poderiam trabalhar *full time* abastecendo as processadoras, totalizando um total de 3200 unidades/hora. O centro CT 02 poderia trabalhar intercalando a produção para abastecer mais 800 peças por hora às processadoras e mais 100 unidades para as linhas de montagem. Dessa forma, o CT 02 trabalharia 40 minutos para as processadoras, em seguida seria submetido uma troca e passaria a produzir para atender às linhas de montagem, num total de apenas 5 minutos ou 100 peças. A troca não poderia ser superior aos 15 minutos restantes.

Estendendo o raciocínio, o analista provavelmente tentaria otimizar os tempos perdidos em trocas através de *buffers* intermediários. Se existirem estoques intermediários entre os

centros de trabalho, linhas de montagem e processadoras, será possível preparar para produzir lotes maiores, enquanto os processos absorvem os estoques existentes. Por exemplo, seria possível produzir um lote de 800 unidades (40 minutos de capacidade do CT 02) para as linhas de montagem, capaz de suportar 8 horas de produção das linhas. Enquanto isso as processadoras teriam que utilizar algo em torno de 534 peças do *buffer*, o equivalente a 40 minutos da diferença de 800 peças que o CT02 precisa produzir por hora para completar o programa de 4000 unidades/hora das processadoras.

Após completar o lote de 800 peças para abastecer as linhas por 8 horas, o CT seria preparado para atender às processadoras. Considerando a capacidade horária de 1200 peças, em 5,33 horas ele já teria repostado o estoque intermediário, produzindo aproximadamente 6400 peças suficientes para oito horas de consumo das processadoras. Esse equipamento provavelmente deva trabalhar por um certo período durante o dia e ser desativado, evitando a formação de um estoque excessivo de peças. A mão-de-obra seria deslocada para outras atividades produtivas. Quanto menor o tempo de preparação do CT02, menor serão os *buffers* intermediários. Os lotes de transferência entre os processos precisam ser dimensionados de acordo com os meios de transporte disponíveis.

A lógica de correlação pode ser empregada no planejamento de capacidade de células de produção. Esse tipo de análise é cabível tanto em relação ao conjunto dos equipamentos agrupados na célula, como entre as próprias células de produção.

4.2. Capacidade nos Sistemas MRPII

Existe uma discussão teórica quanto ao MRPII ser ou não um sistema de capacidade finita. Alguns estudiosos afirmam que o programa de produção é gerado sem a consideração simultânea da capacidade, a qual só é realizada posteriormente no módulo CRP (*Capacity Requirements Planning*) através dos *lead times*, tratando-se de uma programação do tipo infinita. Inglesby (1991) comenta o debate entre diversos autores sobre a validade dos programas produzidos pelos sistemas MRPII. A posição do autor é de que, no “*stricto sensu*”, a geração de um planejamento de materiais no MRP (*Materials Requirements Planning*), **sem a correspondente verificação da capacidade necessária** no módulo CRP constitui um exemplo de uma programação do **tipo infinita**. Na medida em que existir uma avaliação de capacidade,

mesmo que posterior, a questão se torna irrelevante. Interessa muito mais compreender a lógica, os recursos e limitações da ferramenta para que se possa fazer o melhor uso possível do sistema.

O planejamento inicia pelo cálculo dos materiais, onde o algoritmo MRP (*Materials Requirements Planning*) calcula as quantidades necessárias de todos os itens a serem comprados ou fabricados. O cálculo é realizado horizontalmente, nível por nível, ao longo de todas as estruturas de produtos, a partir do Plano Mestre de Produção, estoques, ordens em aberto, etc. Ao final do processamento estão respondidas as questões o **que e quanto** produzir ou comprar de cada item, sempre com o objetivo de atender à demanda estabelecida no Plano Mestre. O próximo passo consiste em analisar a questão de capacidade, o que significa discutir **quando** as ordens deverão ser executadas para que a data de entrega seja atendida.

A lógica básica do CRP é determinar a capacidade necessária para a execução da ordem e alocar essa carga nos centros de trabalho, de acordo com os *lead times* fixos ou calculados pelo sistema. Em outras palavras, faz-se uma estimativa de **quando e onde** as ordens serão executadas, pois os roteiros são conhecidos e fazem parte da base de dados do sistema.

O módulo *Capacity Requirements Planning* dos sistemas MRPII executam a avaliação de capacidade de acordo com a lógica dos *time buckets* discretos e equivalentes a um dia, apresentando as imprecisões inerentes ao tamanho do período. O escalonamento é realizado por ordem, baseado na estrutura do produto, roteiro de fabricação e *lead times* fixos (informados na base de dados) ou calculados pelo próprio sistema. Para executar a avaliação de capacidade, é indispensável executar o planejamento de materiais o qual determina o conjunto das ordens a serem executadas.

O escalonamento é realizado *backward* (da data de entrega do produto final para trás), iniciando a fabricação na data mais tarde capaz de atender às datas de entrega. O algoritmo não resolve as sobrecargas de capacidade, mas apenas aponta os equipamentos e períodos em que a capacidade foi excedida. O sistema não oferece um programa pronto de produção, mas um proposta que deverá ser ajustada interativamente pelo usuário. A Figura 16 representa o escalonamento realizado pelo CRP de acordo com o roteiro estabelecido para o item.

Os *lead times* podem ser fixos ou calculados, de acordo com tamanho do lote, tempo de processamento, *setup*, filas, etc, de maneira que as datas de início e término das operações são estimadas. O algoritmo do CRP vai tomar as informações geradas no programa e outras necessárias, armazenadas na base de dados, e projetar um carregamento de acordo com as datas de início e fim previstas para cada ordem, nos respectivos centros de trabalho. Esse

carregamento é realizado em bases diárias, considerando quantas horas de processamento consome cada ordem alocada num determinado centro de trabalho. Se o somatório de horas necessárias para as ordens é maior que a quantidade de horas prevista para aquele dia temos uma sobrecarga no centro de trabalho, também chamada de *overload*. Na figura abaixo, cada coluna representa o carregamento de cada um dos centros de trabalho citados.

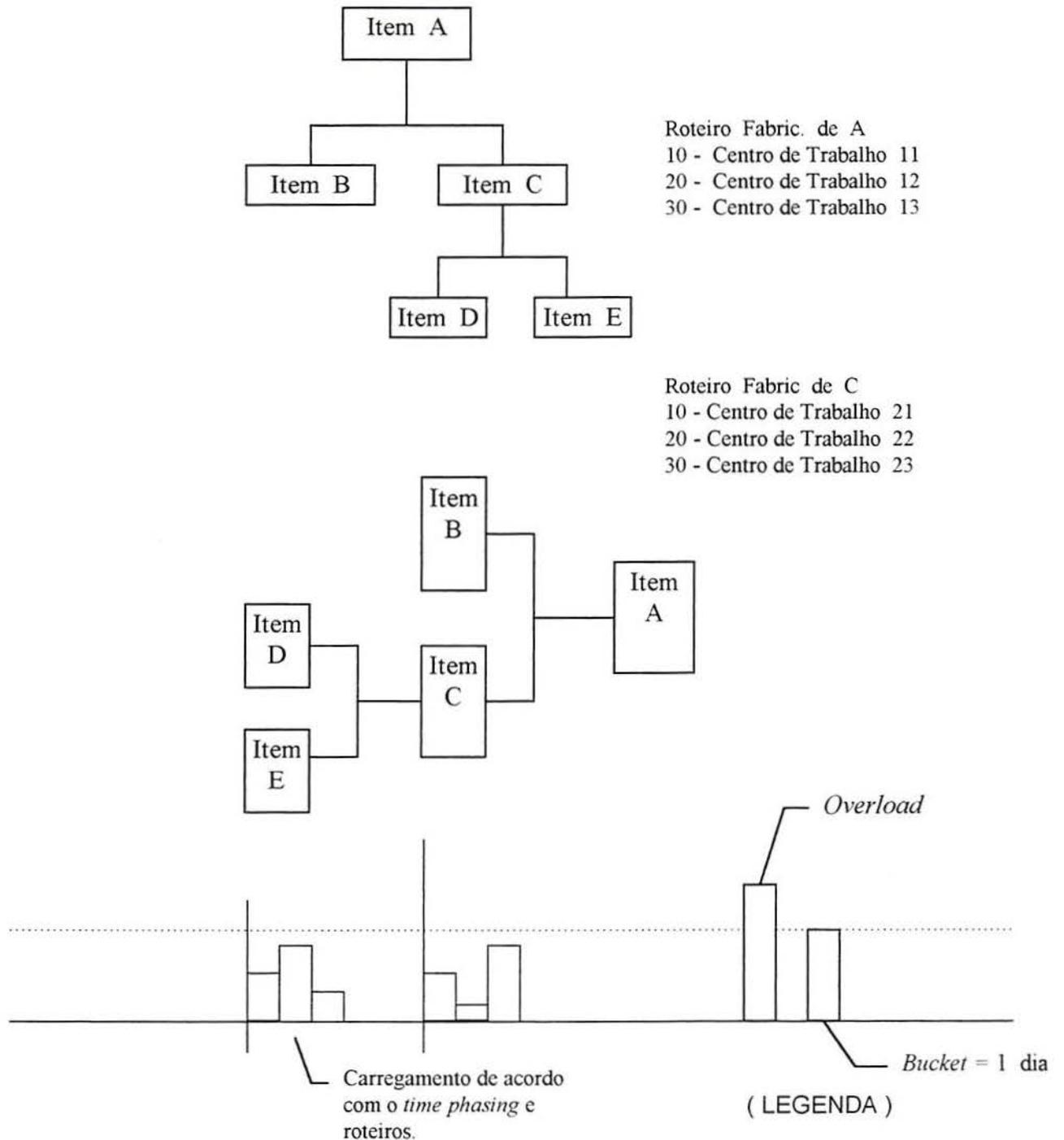


Figura 16. Escalonamento no CRP

Existe um problema fundamental e maior na lógica do carregamento das máquinas através do CRP do que o tamanho do *bucket*. O problema reside nos *lead times* utilizados pelo sistema no *Time Phasing*. De acordo com o manual de operação do sistema MRPII MAX da *Micro MRP Inc., Shop Floor Control* (1994), o sistema pode operar com *lead times* fixos ou calculados. Abaixo a fórmula utilizada pelo produto, caso o usuário opte pelo cálculo dos *lead times*:

$$\text{Lead Time} = \left[\frac{(\text{Qt}_{\text{ordem}} \times \text{T}_{\text{proces}}) + \text{T}_{\text{Setup}}}{\text{Hs}_{\text{dia}}} \right]_{\text{Arred. maior Inteiro}} + \text{T}_{\text{Mov}} + \text{T}_{\text{Fila}}$$

Onde :

Qt_{ordem} = Quantidade da Ordem em Unidades

T_{proces} = Tempo de Processamento Unitário

T_{Setup} = Tempo de Preparação do Lote em Horas

Hs_{dia} = Horas Líquidas Trabalhadas por Dia

T_{Mov} = Tempo de Movimentação entre os Centros de Trabalho (fixos)

T_{Fila} = Tempo de Fila no Centros de Trabalho (fixos)

Arred. maior Inteiro = Arredondar para o Maior Inteiro

A princípio, analisando as variáveis envolvidas na fórmula acima, o cálculo do *lead time* da operação parece bem razoável. Calcula-se o tempo de processamento do lote ao qual é somado o tempo de preparação. Esse valor é dividido pelo número de horas trabalhadas num dia, alterando a unidade de horas para dias. Soma-se o tempo gasto com movimentações e a fila média existente no centro de trabalho, também em dias. O resultado é arredondado para o maior inteiro porque trabalhamos com *buckets* de um dia.

Dentre as variáveis que interferem no *lead time* de produção a mais significativa é o tempo gasto nas filas entre os centros de trabalho. A fórmula apresentada para cálculo do *lead time* utiliza um tempo de fila médio ou standart que é fixa. O problema é que as filas são dinâmicas e variam bastante durante a execução do programa de produção. Como as filas são as maiores responsáveis pelo *lead time* de fabricação, a flutuação real que acontece no tamanho das filas distorce os *lead times* calculados. Segundo Orlicky (1975), levantamentos realizados demonstram que o tempo de transformação equivale apenas algo entre 10 a 20 % do tempo total

de produção. Portanto, as parcelas correspondentes às filas e esperas é que efetivamente determinam o *lead time* de produção de um determinado item.

Ao empregar o *lead times* fixos, os sistemas do tipo MRPII cometem duas imprecisões: uma relativa às filas variáveis, conforme explicado acima, e outra no que se refere ao tamanho dos lotes de fabricação. Nesse caso, independente do tamanho do lote, o tempo de atravessamento é sempre o mesmo, seja o lote de uma ou de mil peças.

Como os *lead times* não refletem o que acontece no chão-de-fábrica, o carregamento dos *buckets* realizado pelo CRP não reflete com precisão a realidade. O sistema considera a execução de uma atividade em um determinado dia e as flutuações das filas fazem com que aconteça em outro. Dessa maneira, a avaliação do carregamento não é real. Naturalmente, em se tratando de *lead times* fixos a situação só pode ser pior, pois não há a consideração correta nem do tempo real de processamento em relação ao tamanho do lote.

Embora as filas existentes no centro de trabalho sejam monitoradas pelo controle do chão-de-fábrica, não são, como poderia se pensar, a melhor informação a ser utilizada para cálculo de *lead time*. Quando o operador reporta a conclusão parcial ou total de uma ordem, o sistema retira a correspondente carga de trabalho na operação concluída e aloca nova carga no centro seguinte. Assim é possível verificar, a qualquer momento, qual é a fila existente nos diversos centros de trabalho. Essas filas representam uma “fotografia” da situação mais sujeita às flutuações do que a própria média.

Outro fator que pode distorcer bastante o *lead time* é o tempo de *setup* o qual é considerado como fixo. Na realidade da fábrica, o tempo de preparação depende da atual configuração do equipamento e do estado desejado para a produção do próximo lote. A Figura 17 apresenta o comportamento matricial do tempo de preparação $t_{i,j}$, de acordo com os estados inicial (i) e final do equipamento (j). Quanto maior for a intervenção ou as alterações necessárias, maior será o tempo de *setup*. As diferenças entre as preparações mais simples e mais complexas podem ser bastante significativas, tornando o valor de *setup* fixo sem significado. Os programadores e supervisores de produção procuram, naturalmente, sequenciar as ordens de forma a otimizar os tempos gastos nos *setups*.

Ao analisar a lógica do MRP de alocação de um conjunto de ordens em um determinado *bucket*, normalmente entre um dia a uma semana, é possível verificar que o sistema não tem como identificar os estados inicial e final dos equipamentos durante o escalonamento no tempo.

	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4		Estado n
Estado 1		$t_{1,2}$	$t_{1,3}$	$t_{1,4}$		$t_{1,n}$
Estado 2	$t_{2,1}$		$t_{2,3}$	$t_{2,4}$		$t_{2,n}$
Estado 3	$t_{3,1}$	$t_{3,2}$		$t_{3,4}$		$t_{3,n}$
Estado 4	$t_{4,1}$	$t_{4,2}$	$t_{4,3}$			$t_{4,n}$
Estado n	$t_{n,1}$	$t_{n,2}$	$t_{n,3}$	$t_{n,4}$		

Figura 17. Comportamento Matricial dos Tempos de *Setup*.

Alguns sistemas MRPII dispõem de critérios de sequenciamento dentro do *bucket*, como por exemplo data de entrega, ordem do pedido, etc, o que determina uma ordem de execução dos trabalhos. Entretanto, durante o processo de *Time Phasing*, quando os *lead times* são utilizados, é impossível a determinação dos estados inicial e final dos equipamentos, pois o conjunto de ordens que serão alocados em um determinado *bucket* ainda não é totalmente conhecido. Isso inviabiliza a utilização da matriz de *setup* e o tempo de preparação é arbitrado como um valor médio fixo e incluído no *lead time*. Na fórmula de cálculo apresentada acima, o valor do *setup* também é fixo pela mesma razão: não há a consideração do estado anterior do equipamento pois este é desconhecido. Além disso, os tempos de *setup* possuem sua própria variabilidade.

Nas situações em que a capacidade de um ou mais centros de trabalho for excedida, o início e o término dos trabalhos serão retardados em horas ou dias, até que o centro conclua o conjunto de ordens a ele atribuídas pelo programa. Carregamentos além da capacidade disponível, representam aumento dos *lead times* inicialmente previstos. Como os roteiros de fabricação constituem eventos dependentes, é possível afirmar que as demais datas de início e conclusão das ordens serão afetadas. De fato, a situação fica bastante complicada pois se perde o controle sobre as datas de execução das ordens e, portanto, toda a estimativa inicial de carregamento fica comprometida.

Outro aspecto, não menos importante sobre o controle dos *lead times*, é a sincronização da produção. Conforme demonstrado no capítulo 4, o MRP procura executar as ordens de

forma a produzir os materiais na data mais tarde possível. O início da produção ou compra de cada item “filho” está vinculado aos respectivos *lead times* e a data de início de produção do item “pai”. Todos os materiais necessários devem estar disponíveis para que o processamento do item de nível superior possa ser iniciado. Antecipar a disponibilidade de algum material representa aumentar o volume de *Work in Process (WIP)*, por produção ou compra antecipadas. Por outro lado, retardar a disponibilidade de algum item significa que o *lead time* será ampliado e que os demais materiais vão ficar retidos aguardando a sua chegada. Os materiais parados representam, novamente, aumento de *WIP* no sistema produtivo.

Falta de controle sobre os *lead times* representa a falência do *Time Phasing* de materiais e das estimativas de carregamento dos centros de trabalho. Perde-se o controle da variável tempo (quando produzir ou comprar) e todo o planejamento e programação iniciais estão comprometidos. É importante mencionar que se não podemos prever os *lead times* com razoável precisão, também não temos datas de entrega asseguradas.

De acordo com Franks (1993), o tratamento separado da capacidade e da disponibilidade de materiais representa um grande problema associado a lógica desses sistemas. O Planejamento de Materiais determina a quantidade de materiais a serem manufaturados em cada etapa do processo ou adquiridos dos fornecedores externos, além de estipular quando cada tarefa deve ser iniciada. O sistemas MRPII assumem que os materiais estarão sempre disponíveis quando do início de uma atividade, a partir do cálculo dos materiais necessários e respectivas ordens geradas. A avaliação de capacidade (*Capacity Requirements Planning*) é implementada após esse processo, assumindo que o suprimento de materiais está assegurado. A partir dessas premissas, a carga dos centros de trabalho é avaliada com o objetivo de identificar possíveis sobrecargas geradas pelo Plano Mestre. As correções, por tentativas, entre alterações no Plano Mestre, no Planejamento de Materiais e no Planejamento Capacidade não conduzem a bons resultados. Alterações na alocação de materiais impactam na capacidade demandada e vice-versa. Na prática, são poucas as organizações que têm tempo e paciência para implementar várias interações no ciclo completo de planejamento de materiais.

O exemplo, a seguir, demonstra, de forma simplificada, como se processa o Planejamento de Materiais e de Capacidade nos sistemas MRPII. O Produto Final (PF), Figura 18, é produzido a partir dos componentes A e B, de acordo com a estrutura e respectivo roteiro, apresentados a seguir.

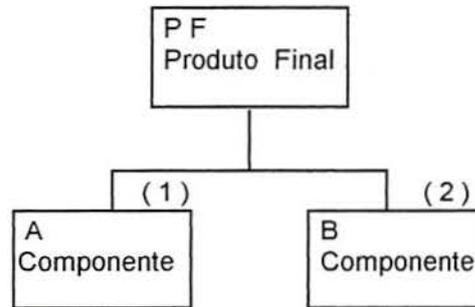


Figura 18. Estrutura do Produto Final

Dados Iniciais:

Recebimentos Programados: 15 unidades do PF
 Estoques (em unidades): PF = 15; A = 15 e B = 20
 Estoques de Segurança: nulos
 Geração de Sucata: não há
 Demanda de PF = 100 un

Roteiro, Centros de Trabalho e Dados de Processamento

Operação	Centro Trab.	Tp Proces.	T _{setup}	Lote Médio
10	111	5 min	120 min	60 un
20	222	10 min	100 min	100 un

FILA MÉDIA CT 111 = 1 dias ou 1 *bucket*

FILA MÉDIA CT 222 = 2 dias ou 2 *buckets*

TEMPO DE OPERAÇÃO / DIA (CT 111 e CT 222) = 8 horas

TEMPO DE MOVIMENTAÇÃO = Desprezível

Solução:

a) Balanço de Materiais do MRPII

$$NB_{PF} = 100$$

$$NL_{PF} = 100 - 30 = 70 \text{ un}$$

$$NB_A = 70$$

$$NL_A = (70 \times 1) - 15 = 55 \text{ un}$$

$$NB_B = 70$$

$$NL_B = (70 \times 2) - 20 = 120 \text{ un}$$

b) Cálculo do Tempo Total de Processamento (Ttp) em cada Centro de Trabalho
 Cálculo do Tempo Total de Processamento (pelo lote médio)

Tempo Total de Proces. = $T_p \text{ Proces.} + (T_p \text{ Setup} \div \text{lote médio})$

$$PF_{111} = 5 \text{ min/un} + (120 \text{ min/setup} \div 60 \text{ un/lote}) = 7 \text{ min/un}$$

$$PF_{222} = 10 \text{ min/un} + (100 \text{ min/setup} \div 100 \text{ un/lote}) = 11 \text{ min/un}$$

Cálculo do Tempo Total de Processamento (pelo lote real)

Tempo Total de Proces. = $T_p \text{ Proces.} + (T_p \text{ Setup} \div \text{lote real})$

$$PF_{111} = 5 \text{ min/un} + (120 \text{ min/setup} \div 70 \text{ un/lote}) = 6,71 \text{ min/un}$$

$$PF_{222} = 10 \text{ min/un} + (100 \text{ min/setup} \div 70 \text{ un/lote}) = 11,43 \text{ min/un}$$

Na solução do exercício será utilizado o lote médio. O cálculo pelo lote real serve apenas para apontar as possíveis distorções desvio ao uso do lote médio.

Cálculo do Carregamento dos Centros de Trabalho

Fórmula Geral :

$$\text{Carga Total} = T_{tp} / \text{unidade} \times \text{Lote}$$

(Cálculo do Carregamento com rateio do *setup* pelo lote médio)

$$\text{Carga Total 111} = 7 \text{ min/un} \times 70 = 490 \text{ min}$$

Equivale a um *bucket* cheio (480 min) + 10 min no seguinte.

$$\text{Carga Total 222} = 11 \text{ min/un} \times 70 = 770 \text{ min}$$

Equivale a um *bucket* cheio (480 min) + 290 min no seguinte.

Cálculo do Carregamento com rateio do *setup* pelo lote real

$$\text{Carga Total 111} = 6,714 \text{ min/un} \times 70 = 470 \text{ min}$$

Equivale a um *bucket* menos 10 min .

$$\text{Carga Total 222} = 11,429 \text{ min/un} \times 70 = 800 \text{ min}$$

Equivale a um *bucket* cheio (480 min) + 320 min no seguinte

Cálculo dos *lead times*

O *lead time* para cada operação é calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$L T = \left[\frac{(T_p \text{ Proces.} \times \text{Lote}) + T_p \text{ Setup}}{8 \text{ h/dia} \times 60 \text{ min/h}} \right]_{\text{Arr}^{**}} + T_p \text{ Movimentação} + T_p \text{ Fila}$$

Arr ** = Arredondar para o maior inteiro

Para a operação 10 (CT 111), temos:

$$L T = \left[\frac{(5 \text{ min/un} \times 70 \text{ un}) + 120 \text{ min}}{8 \text{ h/dia} \times 60 \text{ min/h}} \right]_{\text{Arr}} + 0 \text{ dias} + 1 \text{ dia}$$

$$L T = [0,979] \text{ Arr} + 0 \text{ dias} + 1 \text{ dia} = 2 \text{ dias}$$

Para a operação 20 (CT 222), temos:

$$L T = \left[\frac{(10 \text{ min / un} \times 70 \text{ un}) + 100 \text{ min}}{8 \text{ h / dia} \times 60 \text{ min / h}} \right] \text{ Arr} + 0 \text{ dias} + 2 \text{ dia}$$

$$L T = [1,667] \text{ Arr} + 0 \text{ dias} + 2 \text{ dia} = 4 \text{ dias}$$

A Figura 19 representa o escalonamento das operações, de acordo com os *lead times* calculados.

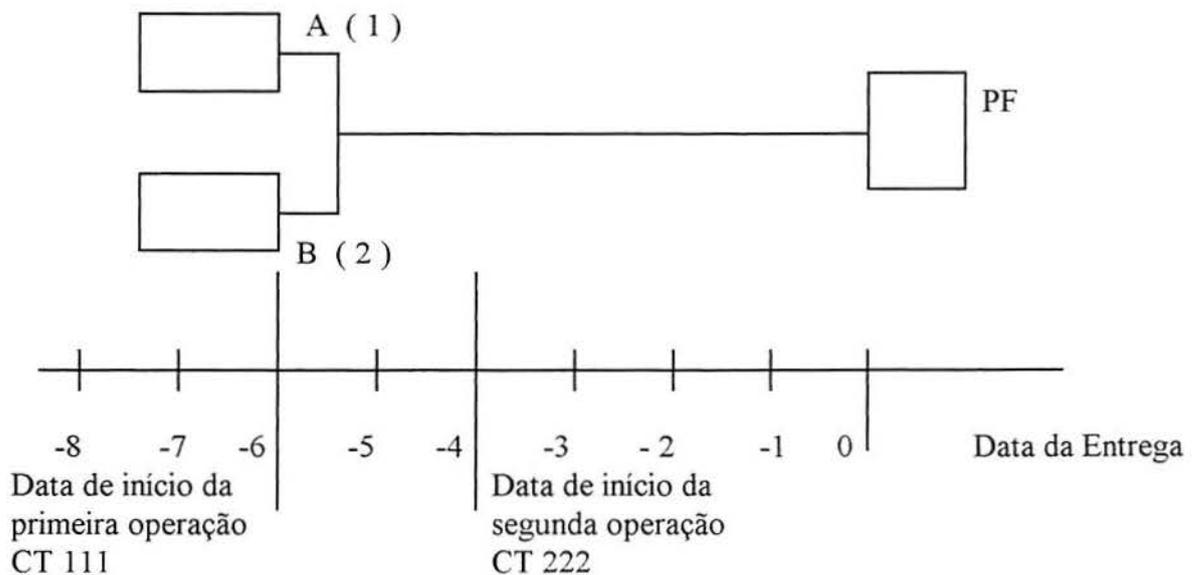


Figura 19. Escalonamento das Ordens por Operação

As operações só se iniciam após os materiais completarem os tempos correspondentes as esperas e filas existentes nos respectivos centros de trabalho. A data limite de chegada do material comprado na fábrica = final do dia -7, para permitir o início do processamento na primeira hora do dia -6.

A Figura 20 representa o carregamento das máquinas de acordo com os *buckets* de 8 horas diárias. Qualquer outra ordem nos *buckets* cheios representará certamente um *overload* ou sobrecarga, nas respectivas datas.

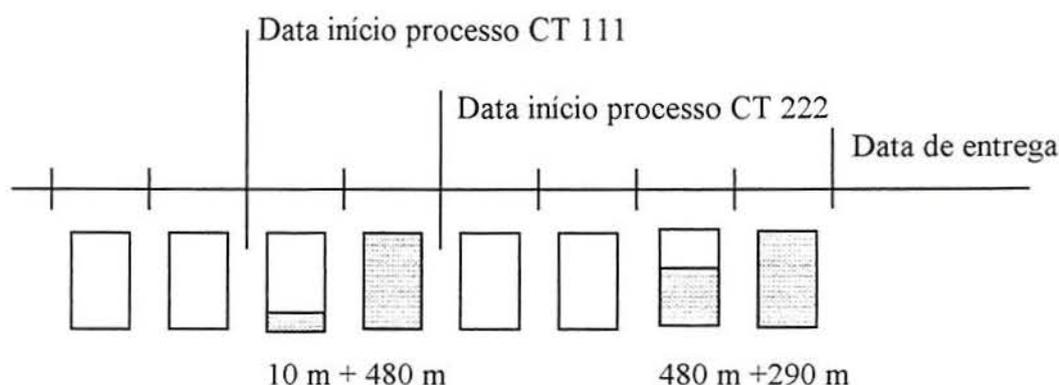


Figura 20. Carregamento das Máquinas

Como os sistemas MRPII são ferramentas de apoio à análise e tomada de decisão, ficará a cargo do programador resolver os *overloads* identificados, que na verdade são conflitos gerados por várias ordens disputando capacidade de um mesmo equipamento. As alternativas imediatas para a solução destes conflitos são: junção de lotes e economia de tempos de preparação, utilização de horas extraordinárias, roteiros alternativos e postergação das datas de entrega. Tomadas as medidas necessárias, o programador deve “rodar” o módulo de CRP novamente para verificar o resultado das suas ações, assim, iterativamente chegará ao programa definitivo. É importante registrar que, na prática, geralmente parte desses conflitos não são resolvidos pelo programador, mas transferidos para o chão-de-fábrica, onde os gerentes, chefes e até mesmo operadores procuraram resolvê-los da melhor forma possível.

Os sistemas mais modernos da classe MRPII (*Manufacturing Resources Planning*) são designados pela sigla ERP (*Enterprise Resources Planning*). As diferenças entre eles são essencialmente na área de engenharia de sistemas: algoritmos escritos em linguagens de última geração, programação orientada ao objeto, emprego de banco de dados abertos e ativos, produtos baseados na tecnologia cliente/servidor e disponibilização de ferramentas *case* com bibliotecas de modelos de negócios.

Apesar dos avanços mencionados, não foram observadas modificações significativas nos princípios de cálculo de materiais e avaliação da capacidade produtiva.

A lógica de programação dos sistemas de *Finite Capacity Schedule* é diferente daquela empregada no módulo *Capacity Requirements Planning* (CRP). Essencialmente, um conjunto de

ordens é escalonado no tempo em *buckets* muito curtos, onde as disputas por capacidade têm de ser imediatamente resolvidas. Esses conflitos são resolvidos através de regras de decisão que estabelecem uma seqüência de produção para as ordens. O próximo capítulo procura discutir um pouco mais a lógica dos sistemas de Planejamento Fino de Produção e o que se pode esperar desse tipo de ferramenta.

CAPÍTULO 5

OS SISTEMAS DE PLANEJAMENTO FINO DA PRODUÇÃO E O CARREGAMENTO FCS

Considerando as análises sobre a Gestão da Capacidade Produtiva e Planejamento de Materiais, realizadas nos capítulos anteriores, é possível concluir que existe uma lacuna entre o planejamento de produção de médio e longo prazos e a programação de chão-de-fábrica. Os sistemas MRPII representaram um grande avanço no planejamento e controle da produção em um dado momento histórico, entretanto, a atual pressão por competitividade e produtividade exige muito mais.

Essa deficiência está diretamente ligada à lógica do sistema baseada em *time buckets* grandes (normalmente iguais a uma semana ou um dia), do *Time Phasing* através dos *lead times*, e do Planejamento de Materiais dissociado da avaliação de capacidade. Isoladamente, os software de MRPII não têm capacidade para executar um sequenciamento global das ordens de produção em períodos curtos de tempo. Diversos detalhes significativos sobre o comportamento do chão-de-fábrica não podem ser modelados no sistema, como por exemplo: as regras de decisão que priorizarão as ações, tempos de *setups* não fixos (matriz de *setups*), *status* detalhado do sistema, gerenciamento de ferramentas e dispositivos, etc. De acordo com Ashton et al. (1990) o controle da execução, o *feed back* das informações e as respostas do sistema também são insuficientes ou lentos quando confrontados com um ambiente de manufatura extremamente dinâmico.

Além de todos os aspectos mencionados, é preciso acrescentar as novas condições de eficiência impostas pela competição cada vez mais intensa. O planejamento de produção deve prover flexibilidade, respostas rápidas às mudanças, melhor gestão do *Work in Process*, maximizar a utilização da capacidade instalada, menores lotes de produção, maior confiabilidade nos prazos de entrega, etc. Todos esses fatores de eficiência são exigidos bem acima daquilo que os sistemas MRPII podem oferecer sozinhos.

Piemonte (1992) comenta uma nova arquitetura, na qual os sistemas do tipo MRPII operam em conjunto com *software* de Planejamento Fino da Produção (PFP), visando atender melhor às demandas acima mencionadas. Segundo ele, a origem dos PFP's aconteceu na

Alemanha, por volta de 1985, onde receberam o nome genérico de *Leitstand*. As primeiras aplicações práticas iniciaram em 1988, principalmente na Europa. Em Inglês, essa classe de sistemas é conhecida como *Finite Capacity Schedule* (FCS), o que determinou outra designação equivalente em português: Sistemas de Capacidade Finita. Atualmente existem diversos produtos de diferentes *softwarehouses* européias e americanas disponíveis no mercado.

Segundo Piemonte (1992) os Sistemas de Capacidade Finita podem ser definidos como: “um sistema gráfico de suporte e tomada de decisão em tempo real, para a programação interativa e monitoração da produção”. Essa definição, embora não esteja incorreta, é um tanto restrita já que não faz menção à lógica de operação da nova tecnologia. A seguir a definição de Piemonte será ampliada, assim como outros aspectos dos sistemas PFP.

Os sistemas de Planejamento Fino de Produção são *software* que permitem uma representação bastante apurada das variáveis existentes no chão-de-fábrica e, por consequência, do seu comportamento, onde algoritmos de sequenciamento executam uma programação detalhada das atividades em *buckets* muito reduzidos como a cada minuto. A definição apresentada por Piemonte complementa imediatamente as colocações acima.

Segundo Pedroso & Correa (1996), a principal característica dos sistemas de PFP é a de considerar a capacidade produtiva e as várias características tecnológicas do sistema produtivo como uma restrição fundamental. A intenção é utilizar esses sistemas para desenvolver um programa viável, onde o usuário deve:

- a) modelar o sistema produtivo;
 - equipamentos e respectivas características
 - roteiros (preferenciais e alternativos)
 - mão-de-obra
 - calendário e turnos de trabalho
 - matriz de *setup*
 - outras restrições tecnológicas
- b) informar a demanda e suas variações;
- c) estabelecer o *status* do sistema produtivo;
 - ordens em processamento

- quebras de máquinas
- manutenções previstas
- estoques de matérias primas, intermediários e produtos acabados

d) definir os objetivos gerais do sistema produtivo como um todo e regras de decisão.

Ao proceder o sequenciamento, o sistema considera, entre outros aspectos, as datas de conclusão desejadas para as ordens, as regras que orientam as prioridades e decisões, os roteiros preferenciais de produção, os roteiros alternativos, os recursos existentes, o calendário de operação e manutenção, os materiais necessários em cada etapa do processo e o *status* (situação) do sistema produtivo. O processamento dessas informações define um perfil de carregamento dos centros de trabalho. Os Sistemas de Capacidade Finita permitem uma representação muito mais precisa da realidade do chão-de-fábrica no sistema virtual (computador), realizando uma “simulação” de como deveria acontecer a execução de um conjunto de ordens. Esses *software* se aproximam, **no conceito amplo**, de simuladores para a manufatura quando geram o *schedule* ou a programação, a partir de regras que determinam a seqüência de execução das ordens e a seleção dos recursos correspondentes. A simulação de diferentes cenários como suporte à tomada de decisão é uma das propostas dos sistemas FCS. Alguns sistemas de Capacidade Finita foram desenvolvidos por *softwarehouses* tradicionalmente conhecidas no mercado por seus produtos voltados à área de simulação. Entretanto, como veremos adiante, os *software* de capacidade finita não podem ser classificados unicamente como simuladores de manufatura.

As regras de decisão possuem grande importância pois têm o objetivo de emular, no sistema, as mesmas decisões que são ou deveriam ser tomadas no chão-de-fábrica, estabelecendo prioridades para execução das ordens, seleção de recursos e sobre desempenho do próprio sistema produtivo como um todo. Para exemplificar, abaixo estão algumas regras extraídas do manual *Base System* vol. 01 do Sistema FACTOR de Planejamento Fino de Produção:

a) regras para o sequenciamento das ordens:

- FIFO (a primeira ordem que chega é a primeira a ser executada).
- LIFO (a última ordem que chega é a primeira a ser executada).
- executar as ordens da maior para a menor prioridade.

- executar as ordens na seqüência da data de entrega (data mais cedo para a data mais tarde).
- executar primeiro as ordens com menor número restante de operações.
- executar primeiro as ordens com menor tempo restante até a data de entrega.
- outras padronizadas ou definidas pelo usuário.

b) regras para seleção e alocação dos recursos:

- selecionar o menor tempo de *setup* entre os recursos disponíveis.
- alocar qualquer recurso em qualquer ordem conforme a disponibilidade.
- alocar todos os recursos numa determinada ordem na medida em que eles estiverem disponíveis.
- outras preestabelecidas ou definidas pelo usuário.

De acordo com Proença et al. (1995) e com Piemonte (1992) os algoritmos ainda podem levar em consideração critérios de desempenho global do sistema produtivo, tais como:

- a) priorizar o atendimento às datas de entrega;
- b) redução do *Work in Process*;
- c) otimizar a utilização dos equipamentos;
- d) redução do *lead time* total;
- e) maximizar o volume de produção, etc.

Diferentes *schedules* são gerados a partir das regras acima apresentadas. Quanto aos critérios de desempenho, é importante deixar claro que os algoritmos não são otimizantes e, portanto, a solução apresentada pelo sistema é apenas uma entre uma infinidade de possibilidades. Talvez o melhor conceito seja o de que o algoritmo tende a priorizar o critério de desempenho selecionado pelo analista, mas não é capaz de determinar uma solução ótima. Muitos recursos têm sido incorporados à esses *software* com essa finalidade. Entretanto, conforme discutido no início deste trabalho, tecnologicamente ainda não existem soluções definitivas para o problema.

Os sistemas MRPII funcionam, basicamente, de forma muito semelhante. Sua lógica de operação é praticamente padronizada e perfeitamente conhecida e foi dissecada por técnicos e

estudiosos ao longo de mais de trinta anos de existência. Ao analisar catálogos, artigos e publicações diversas sobre os *software* de Planejamento Fino, verificam-se aspectos comuns nos objetivos, módulos, base de dados, interfaces e forma de operação. Por outro lado, tudo indica que cada *software* de Capacidade Finita possui algoritmos e heurísticas próprios para gerar o *schedule*, desenvolvidos de forma independente pelas respectivas *softwarehouses*. Portanto, é bastante natural esperar desempenhos bem distintos entre os *software* de Capacidade Finita disponíveis no mercado, o que implica na necessidade de uma análise cuidadosa antes da aquisição desse tipo de produto.

Outra condição interessante parece ser o aspecto da geração das ordens de produção. Nem todos os *software* de capacidade finita disponíveis no mercado executam o Planejamento de Materiais de forma autônoma, ou seja, apenas executam o sequenciamento das ordens geradas externamente (manualmente ou por sistemas do tipo MRPII)

O artigo publicado por Carrilo (1997), coloca bem a questão da importância do MRPII/ERP como banco de dados integrador de todas as demais funções da empresa, processando transações relativas às áreas administrativa, contábil, financeira, recursos humanos, compras, etc, e não somente a produção. Os sistemas MRPII/ERP são adequados para realizar as etapas de planejamento de médio (tático) e longo prazos (estratégico), desde que possuam ferramentas específicas. Estas razões são suficientes para sugerir a proposição de uma arquitetura que utilize a operação conjunta entre FCS e MRPII.

5.1. Configuração dos Sistemas FCS

Neste capítulo serão apresentadas as principais funções e/ou módulos encontrados nos Sistemas de Capacidade Finita, de acordo com os artigos de Favaretto (1993), Piemonte (1992) e Pritsker et al. (1994). As funcionalidades descritas a seguir podem constituir módulos específicos ou estarem agrupadas em *menus*, dependendo da concepção do produto.

Os sistemas de Planejamento Fino possuem uma base de dados própria que, geralmente, opera com diversas interfaces para outros sistemas ou bancos de dados da empresa. A base de dados dos sistemas MRPII, por exemplo, pode fornecer grande quantidade de informações úteis ao FCS, incluindo roteiros de fabricação, recursos, o carregamento das ordens geradas pelo Planejamento de Materiais, etc. São comuns interfaces com *software* voltados à engenharia de processo e de projeto. Outro *input* importante é o controle do chão-de-fábrica, necessário para

estabelecer o *status* ou estado do sistema produtivo antes que o algoritmo proceda o sequenciamento, assim como para o *feedback* e gestão do programa em curso. Evidentemente a operação do FCS exige um estudo prévio sobre as estratégias e formas de coleta de dados no piso da fábrica. A coleta de dados mais imediata deve considerar a vida útil e disponibilidade de ferramentas e dispositivos, *status* das máquinas e equipamentos (ocioso, ocupado, em manutenção, etc) mais a coleta de dados sobre produção (*status* da ordem, quantidade produzida, refugos, etc). Os sistemas de coleta mais comuns variam entre utilização de código de barras a informações digitais colhidas diretamente de CLP's (Controladores Lógicos Programáveis). Sistemas de coleta de dados manuais não são econômicos nem operacionais, além de estarem sujeitos a diversos tipos de falhas adicionais.

Os *software* de FCS apresentam módulos ou *menus* voltados à modelagem do chão-de-fábrica no sistema virtual. Tais módulos permitem o cadastramento manual de peças e componentes, equipamentos, recursos em geral, roteiros de produção, informações sobre manutenção, horários de trabalho, regras de decisão, etc. As ordens de produção também podem ser carregadas manualmente, compreendendo o item a ser fabricado, quantidade e datas desejadas. Como foi comentado no parágrafo anterior, muitas dessas informações provavelmente serão carregadas, via interface, de outras bases de dados. Na prática, a maioria das aplicações de FCS vai exigir alguma manutenção manual do modelo ou base de dados, o que vai depender do grau de informatização do projeto.

O núcleo do sistema consiste nos algoritmos que executam a geração do carregamento e sequenciamento das ordens, o que acontece de forma independente, ou seja, sem a interferência do operador. Como resultado, espera-se a geração de um carregamento viável do ponto de vista de capacidade e um sequenciamento que procure atender a algum parâmetro de desempenho global do sistema produtivo. Certamente, o módulo de geração dos *schedules* contém o que há de mais avançado e complexo, em termos tecnológicos, nesse tipo de sistema.

Uma característica comum aos sistemas FCS é a interface gráfica com o operador. É formada por um conjunto de telas que apresentam a projeção de carga dos centros de trabalho e do sequenciamento estabelecido para as ordens. Essa informações são apresentadas de forma visual, através de gráficos de barras e de Gantt. Por exemplo, ao consultar a situação de um centro de trabalho, em um determinado período, a tela apresenta ao operador um gráfico de Gantt contendo: as ordens previstas, a hora de início e fim de cada operação, os respectivos tempos de preparação, os tempos ociosos do equipamento, os períodos dedicados à manutenção

preventiva, os turnos normais de trabalho, etc. Na interface gráfica, a cada estado ou *status* do equipamento são atribuídas cores diferentes, facilitando a visualização. Nos sistemas que dispõem de mais recursos para controle do chão-de-fábrica, é possível confrontar, graficamente, o planejamento previsto e o progresso na execução, apresentados por meio de cores diferentes. Gráficos de barras podem apresentar a situação de carregamento dos centros de trabalho, apontando gargalos, ociosidade, períodos de pico durante a execução do programa e outras informações. Uma grande quantidade de outras informações é disponibilizada de forma gráfica ao usuário. Atualmente, as limitações da própria tela são excedidas através da utilização de janelas.

O editor é o módulo onde o usuário interage com o sistema, modificando a programação planejada ou em curso. O elemento principal de trabalho é a operação, a qual pertence a alguma ordem de produção. À operação estão associados um tempo de *setup*, um recurso, um tempo de processamento, uma operação predecessora e outra sucessora. O módulo de edição deve permitir, entre outras funções, as seguintes:

- a) programação de uma operação em um determinado recurso;
- b) cancelamento de uma operação;
- c) alteração nas quantidades previstas;
- d) modificação nos tempos de processamento previstos;
- e) combinação duas ou mais operações;
- f) desvio da operação para recursos alternativos;
- g) subdivisão de operações e outras.

Os sistemas mais sofisticados oferecem ao usuário um *feedback* sobre a viabilidade das modificações realizadas.

Exemplificando: no sistema FACTOR, o módulo *Schedule Management* acumula as funções de interface gráfica e módulo de edição, embora o módulo *Schedule Development* ofereça diversos relatórios e *outputs* sobre a programação gerada, permitindo a avaliação dos cenários e a comparação de resultados.

Naturalmente, todos os sistemas apresentam diversas telas, gráficos e relatórios necessários para permitir ao usuário a avaliação do programa gerado. Informações como: tempos de atravessamento das ordens, índice de utilização das máquinas, estoque de produtos em processamento, relação das ordens em atraso e outras, permitem ao usuário analisar e comparar o resultado obtido nos diversos cenários e a tomada de decisão.

5.2. Proposta de Classificação dos Sistemas FCS

Pedroso & Correa (1996) propõem uma classificação dos sistemas de programação com Capacidade Finita bastante interessante, a qual amplia o entendimento sobre os seus fundamentos. De acordo com os autores, não há um *design* básico predominante uma vez que existem conceitos diversos na concepção e no escopo das decisões. Esse fato também foi mencionado anteriormente nesse trabalho, já que cada *software house* desenvolve suas soluções de forma independente e baseadas em princípios próprios não padronizados.

A classificação proposta por Correa & Pedroso (1996) está baseada em três critérios, que serão comentados a seguir:

- a) abordagem para solução do problema;
- b) grau de interação com o usuário;
- c) abrangência das decisões.

A abordagem para a solução do problema compreende três veios principais: regras de decisão, métodos matemáticos heurísticos e os modelos otimizantes.

Os sistemas baseados em regras de liberação utilizam estas para definir a seqüência de passagem de um conjunto de ordens de fabricação, as quais disputam um recurso de produção. A literatura apresenta dezenas de regras, algumas são semelhantes às extraídas do manual do Sistema FACTOR. Os produtos baseados em regras de liberação adotam o conceito de programação *forward*, onde a capacidade vai sendo preenchida seqüencialmente, em ordem cronológica, de acordo com as regras preestabelecidas. Esses sistemas são os mais difundidos dada a relativa simplicidade na modelagem e rapidez de processamento. Como funcionam segundo a lógica de simulação (comparação de resultados e decisão de acordo com critérios de escolha definidos pelo analista) esse tipo de sistema tende a gerar resultados de menor “qualidade”.

Por outro lado, os sistemas enquadrados no tipo matemáticos otimizantes representam o extremo oposto daqueles baseados em regras de decisões.

A principal característica dos sistemas de FCS baseados em modelos otimizantes é a capacidade de determinação da melhor solução possível, uma vez definido o objetivo que se deseja atingir. Soluções baseadas em algoritmos de pesquisa operacional são um exemplo típico.

Devido à complexidade dos modelos matemáticos, essas soluções são limitadas a problemas restritos de pequeno porte e sujeitos a simplificações, em geral, não aplicáveis a situações reais.

Os modelos matemáticos heurísticos representam uma solução intermediária entre as regras de decisão e os modelos otimizantes. Empregam algoritmos matemáticos que têm a capacidade de construir soluções “orientadas” que evitam a aleatoriedade dos resultados obtidos pelos sistemas baseados em regras de liberação. Como resultado, obtém-se soluções de melhor qualidade, mas não necessariamente ótimas. Apresentam condições amplas de aplicação no campo prático, o que representa uma grande vantagem.

Existem outros tipos de soluções em desenvolvimento para o problema de programação detalhada de produção. Os algoritmos de inteligência artificial baseiam-se no emprego do conhecimento de especialistas no assunto, o qual é transformado num conjunto de regras de decisão que orientam a construção da solução. Os sistemas de redes neurais tentam simular o processo de aprendizado da mente humana, embora estas ainda estejam restritas às pesquisas acadêmicas.

Outros *software* se baseiam na Teoria das Restrições (TOC) de Goldratt (1993) e também podem ser considerados sistema do tipo FCS. O algoritmo de programação, denominado Tambor, Pulmão e Corda, procede o carregamento dos centros de trabalho a partir de três princípios básicos:

- a) identificar as restrições do sistema;
- b) explorar a restrição ao máximo;
- c) subordinar os demais recursos à restrição.

A lógica fundamental é de que o gargalo deve estabelecer o ritmo de produção (Tambor) do sistema como um todo, onde resulta o processo de subordinação ou amarração dos demais recursos à capacidade do gargalo (corda). O processo de subordinação busca evitar a formação de estoques intermediários desnecessários, já que os equipamentos com capacidade superior à do gargalo passam a trabalhar no ritmo desse último. Além disso, Goldratt defende a manutenção de estoques de segurança (pulmões) que visam proteger o gargalo do sistema, a linha de montagem final e o mercado (datas de entrega).

Os sistemas baseados na Tecnologia da Produção Otimizada executam a programação visando índices de desempenho global do sistema, suportados por algoritmos heurísticos, o que em última instância os enquadra na classe de sistemas matemáticos heurísticos.

Concluindo a análise das abordagens utilizadas pelos sistemas FCS na solução do problema de programação, é interessante proceder um confronto com as soluções comentadas no capítulo 2.

A seção 2.3, O Problema do Planejamento Operacional de Produção, faz menção ao artigo de Maccarthy & Liu (1993) no qual estes discutem as soluções para a programação de produção ao nível de chão-de-fábrica. No artigo, os autores mencionam três métodos principais:

- a) Métodos Otimizantes Eficientes (modelagem matemática);
- b) Métodos Otimizantes Enumerativos (formulações de pesquisa operacional);
- c) Métodos Heurísticos.

Complementando o conteúdo do artigo de Maccarthy & Liu (1993), foram inseridos comentários sobre o potencial da simulação computacional como solução na programação detalhada de produção.

A menção de parte do conteúdo da seção 2.3 vem demonstrar que a classificação proposta por Correa & Pedroso (1996), no aspecto métodos de solução, está alinhada com a apresentada por Maccarthy & Liu (1993). Os sistemas baseados em regras de liberação não são citados por Maccarthy & Liu (1993) mas se enquadram nas soluções de simulação computacional, incluídas logo em seguida.

O grau de interação com o usuário é outro aspecto da classificação proposta por Correa & Pedroso (1996).

Essencialmente o grau de interação com o usuário consiste na origem das decisões que norteiam a execução do programa. Se as decisões são tomadas pelo usuário e o sistema funciona como uma ferramenta de suporte à tomada de decisão, o *software* é considerado aberto. O programa é definido com base na tentativa e erro onde o usuário analisa os cenários, procede alterações e define o programa a ser adotado. Os sistemas baseados em regras de decisão são tipicamente abertos. No outro extremo, os sistemas baseados em modelos matemáticos otimizantes assumem a responsabilidade pela decisão sobre a melhor alternativa. A interação com o usuário é restrita a definição de alguns critérios como os objetivos globais de desempenho ou localização de gargalos, por exemplo. Na prática os sistemas existentes oscilam entre esses dois extremos.

A terceira e última abordagem da classificação proposta por Pedroso & Correa (1996) se refere à abrangência das decisões no Planejamento e Programação da Produção.

A essa altura, os autores mencionam uma característica relevante sem, no entanto, enfatizar a sua importância: a gestão integrada da capacidade e de materiais. Alguns sistemas são estritamente ferramentas de apoio à programação da produção, procedendo o sequenciamento das ordens a serem executadas de acordo com os recursos disponíveis, em um dado horizonte de tempo. Outros *software* permitem a gestão integrada do estoque de materiais e da capacidade produtiva, determinando até as necessidades de aquisição de matérias-primas. Seguramente, os resultados obtidos pela gestão integrada da capacidade e dos materiais representam uma abordagem mais ampla, conduzindo a melhores resultados.

Ainda no âmbito da abrangência das decisões, convém lembrar que o aspecto de controle de chão-de-fábrica representa outro fator importante a ser observado nos sistemas FCS. Não basta gerar um programa de produção detalhado; é necessário monitorar a implementação do plano de modo a adotar as medidas corretivas, em tempo hábil, como forma de atingir os objetivos propostos. Nesse sentido, é necessário avaliar não só as ferramentas disponibilizadas pelo sistema para controle do chão-de-fábrica, mas também o modelo de controle a ser adotado, todo o aparato de equipamentos necessários na fábrica para tal e a preparação do pessoal envolvido.

CAPÍTULO 6

O SISTEMA DE PLANEJAMENTO FINO

O *software* FACTOR é um produto desenvolvido originalmente pela Pritsker Corporation, uma companhia fundada em 1973 por Alan B. Pritsker, com o nome de *Pritsker & Associates*, uma empresa de consultoria na área de simulação. O Dr. Pritsker, Ph.D pela *Ohio State University*, é mundialmente conhecido por suas pesquisas na área de simulação. Também é autor de diversas publicações sobre o assunto. Apesar de iniciar suas operações centrada em simulação nas áreas empresarial e governamental, a companhia voltou-se logo cedo para aplicações no campo da programação e comercialização de *software*.

Atualmente, a Pritsker é uma divisão da empresa SYMIX, provedora de soluções para a gestão da indústria de manufatura.

A SYMIX foi fundada em 1979 pelo seu atual diretor-presidente Larry Fox. Sua sede se localiza em Columbus, Ohio, nos Estados Unidos, comercializando produtos diretamente através de escritórios na Europa e América do Norte. Opera com mais de 50 parceiros independentes pelo mundo, os quais distribuem seus produtos e prestam suporte.

O produto FACTOR é um *software* da classe FCS, baseado na lógica de simulação computacional discreta e voltado ao gerenciamento da capacidade fabril. Oferece uma representação mais apurada da capacidade produtiva e, portanto, um planejamento mais preciso das operações e do carregamento dos centros de trabalho. Suas características de simulação computacional permitem a análise das inter-relações entre máquinas, pessoal, ferramentas e materiais, os quais funcionam como restrições do sistema. A versão disponibilizada para estudos é essencialmente determinística, embora Pritsker et al. (1994) mencionem, em um artigo sobre o produto, que os tempos para a execução de uma atividade possam ser especificados como uma constante, expressão ou mesmo uma distribuição de probabilidades.

Sua operação não é complexa, mas é necessário que o analista compreenda, em profundidade, a lógica geral de operação do sistema e a capacidade das suas ferramentas de modelagem. De acordo com os catálogos do produto, a simulação da performance de um sistema produtivo fornece subsídios para a análise e tomada de decisão, onde são esperados melhores resultados nos aspectos de:

- a) avaliação mais realista das datas de conclusão das ordens;

- b) melhor controle da utilização dos recursos;
- c) identificação dos gargalos de produção e medidas de contorno;
- d) redução dos custos de mão-de-obra em regime normal e de hora extra;
- e) redução dos tempos gastos em *setup*;
- f) redução do material em processo através da melhor sincronização da produção;
- g) análise e aperfeiçoamento geral do sistema produtivo.

A tarefas realizadas pelo sistema FACTOR são suportadas por três módulos: FACTOR AIM (*Analyser for Improving Manufacturing*), FACTOR SDM (*Schedule Development Module*) e FACTOR SMM (*Schedule Management Module*).

6.1. O Módulo AIM (*Analyser for Improving Manufacturing*)

O módulo FACTOR AIM é um sistema completo de simulação para modelagem de sistemas produtivos. Segundo Pritsker et al. (1994), o produto contém uma linguagem própria de modelagem, um programa de simulação incluindo ferramentas de análise, uma interface para definição do problema mais um banco de dados para armazenagem de *inputs*, modelos, animações, resultados das simulações e suas análises. Seu objetivo principal é servir como ferramenta para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de processos produtivos, especialmente no que diz respeito ao gerenciamento da capacidade. Os modelos do AIM podem ser utilizados pelo módulo SDM com fins de programação.

Os modelos desenvolvidos no AIM são montados através de componentes destinados a representar as diversas atividades e situações que ocorrem nos sistemas produtivos. Cada um deles possui características próprias e comuns de maneira a representar uma determinada atividade ou seu *status*. Alguns componentes apresentam características operacionais e gráficas, como por exemplo:

- a) materiais e peças;
- b) recursos;
 - máquinas e equipamentos
 - operadores
 - ferramentas, dispositivos e outros.

- c) filas e *buffers*;
- d) AGV's (*Automatic Guided Vehicles*);
- e) transportadores;
- f) outros.

Alguns dos componentes não gráficos do sistema são listados a seguir:

- a) calendário;
- b) roteiros e seus passos;
- c) ordens de fabricação;
- d) turnos de operação;
- e) quebras e manutenção do equipamento;
- f) variáveis.

A modelagem do sistema produtivo consiste na utilização e manejo adequado desses componentes, de forma a representar o comportamento dinâmico do chão de fábrica. Um conjunto de *flags*, ou comandos, controla a coleta de dados, os quais são utilizados para a avaliação da performance do modelo (validação) e do próprio sistema representado.

De um modo geral, o processo de manufatura é representado, no sistema virtual, por uma seqüência de eventos, atividades e decisões. O principal componente utilizado para tal são os roteiros ou *Process Plans*, os quais são compostos de passos denominados *jobsteps*. Assim como nos demais *software* de simulação discreta, existe uma entidade básica que flui pelo sistema, a qual é denominada de carga ou *load*. Uma *load* representa uma quantidade específica de peças a serem manufaturadas, geralmente menor ou igual a quantidade total de uma ordem. Em determinadas situações, uma *load* pode conter peças de diferentes ordens. A figura 21, extraída do artigo de Pritsker et al. (1994), descreve algumas das decisões e eventos que ocorrem em cada *jobstep* do roteiro de fabricação. As atividades ocorrem entre o início e o fim de um *jobstep* e podem demandar tempo e recursos.

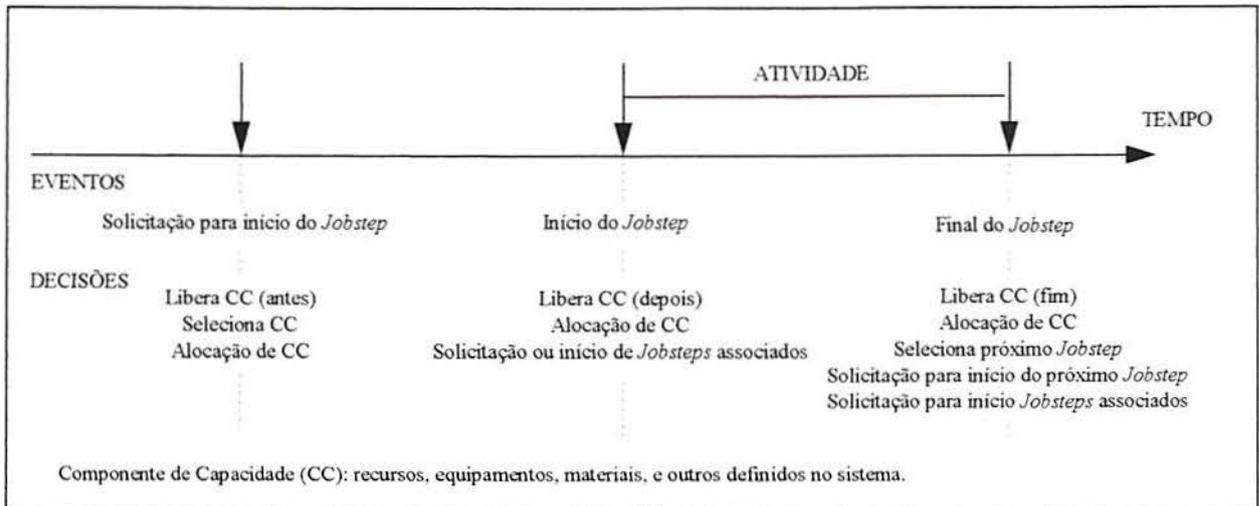


Figura 21 . Descrição Geral de um *Jobstep* do AIM

Fonte.: Pritsker et al. (1994)

Ao percorrer os roteiros de fabricação, as *loads* vão demandando os recursos necessários para o seu processamento. As *loads* que disputam determinado recurso são colocadas numa fila de espera, de acordo com as respectivas prioridades de execução, definidas através de regras de sequenciamento disponíveis no sistema ou mesmo desenvolvidas pelo analista. Cada recurso possui uma fila ou lista individual de *loads* disputando sua capacidade e, portanto, as regras de sequenciamento podem variar de recurso para recurso, de acordo com a lógica de operação de cada um. As regras de sequenciamento definidas nos próprios recursos têm precedência sobre a regra definida nos parâmetros globais do modelo. Quando um recurso fica disponível, o sistema procura qual será a próxima *load* a ser processada na respectiva lista de solicitações pelo recurso, tentando atendê-las em ordem. Abaixo, algumas das regras disponíveis no sistema FACTOR para ordenamento das *loads* na fila de solicitação por um determinado recurso:

- a) FIFO (primeira que chega ao *jobstep*);
- b) LIFO (última que chega ao *jobstep*);
- c) da maior para a menor prioridade;
- d) da menor para a maior prioridade;
- e) *loads* da ordem com data de entrega mais próxima;
- f) maior tempo de processamento no *jobstep* corrente;

- g) menor número de *jobsteps* restantes;
- h) menor intervalo de tempo restante até a data devida da ordem;
- i) menor intervalo de tempo entre o tempo restante até a data de conclusão da ordem menos somatório dos tempos de processamento restantes e outras;

Também existe um processo de decisão relativo à forma como os recursos serão alocados. As regras de alocação dos recursos decidem como os recursos ou grupos de recursos são alocados, considerando as *loads* presentes numa determinada etapa ou *jobstep*. Também determinam o que fazer se a alocação não for possível devido à indisponibilidade do recurso. As lógicas de alocação dos recursos ficam melhor compreendidas através de exemplos das regras de alocação:

- a) alocar todos os recursos em qualquer ordem, um por vez, na medida em que ficarem disponíveis;
- b) alocar todos os recursos na ordem especificada, um por vez, na medida em que ficarem disponíveis;
- c) alocar todos os recursos especificados juntos como um grupo, mas não alocar nenhum enquanto todos estiverem disponíveis;

Quando uma *load* chega a um determinado *jobstep*, a regra de alocação de recursos especificada procura imediatamente alocar um recurso para atendê-la. Se a alocação não for possível no momento, a *load* será colocada na lista de solicitação pelo recurso em questão, de acordo com a sua prioridade, estabelecida pela regra de sequenciamento. As *loads* permanecem na fila até que algum recurso esteja disponível, quando a regra de alocação será novamente examinada. Uma característica bem definida e observada no sistema FACTOR é a alocação de apenas uma única *load* a um determinado recurso. Isso não significa que várias *loads*, de uma mesma ordem, não possam ser processadas em vários recursos ao mesmo tempo.

Essencialmente, a construção do modelo consiste na montagem dos roteiros de produção, denominados no sistema por *Process Plans*.

A primeira etapa de modelagem consiste no cadastramento de diversos componentes básicos que serão utilizados posteriormente nos roteiros: materiais, peças, recursos, grupos de recursos, calendário de operações, turnos de trabalho, matriz de *setup*, etc. Os recursos representam componentes físicos empregados na manufatura e que tipicamente se configuram

em restrições ao fluxo de produção. Embora os tipos de recursos sejam vários (máquinas, equipamentos de transporte, dispositivos, ferramentas, mão-de-obra, etc) as telas e os dados de entrada são tipicamente os mesmos. Os diversos campos definem suas características, capacidade e *status* inicial do recurso.

A versão do sistema FACTOR, disponibilizada para estudos, apresenta vinte tipos diferentes de *jobsteps* prontos para a montagem de modelos, mais quinze opções a serem definidas pelo usuário. Os principais são os seguintes:

- a) operação;
- b) montagem;
- c) produção;
- d) *setup*;
- e) *batch*;
- f) adicionar materiais;
- g) remover materiais;
- h) selecionar *jobsteps*;
- i) acumular / dividir;
- j) portões;
- h) inspeção.

A Figura 22 apresenta a configuração típica da tela inicial para cadastramento de um *jobstep*. Na maioria dos casos existe uma segunda tela que complementa as informações sobre as atividades, eventos e decisões relativas à etapa do processo que está sendo modelada.

Os campos, da Figura 22, significam:

Process Plan - Designação do roteiro de fabricação do qual o *jobstep* faz parte (alfanumérico)

Jobstep Type - No caso o número 1 equivale a um *jobstep* do tipo operação (2 = Montagem, 3 = Produção, 4 = *Setup*, 5 = Mover, 6 = *Batch*, 8 = adicionar material, 9 = remover material, etc.).

Jobstep Name - numero seqüencial do *jobstep*.

Description - descrição da atividade.

Next Jobstep - corresponde ao número sequencial do próximo *jobstep*.

Jobstep Selection Rule - regra para *jobstep* alternativo.

0 = selecione sempre o *jobstep* corrente

1 = selecione o *jobstep* corrente se o primeiro recurso listado está disponível

FACTOR - Jobstep Editor		Alternative: 00			
Process Plan: PP1729					
Jobstep Type: 1					
Jobstep Name:	010.1				
Description:	Usinagem Eixo Principal				
Next Jobstep:	010.2				
Jobstep Selection Rule:	0	Resources/Groups to Allocate/Free			
Alternative Jobstep:		<u>Action</u>	<u>Units</u>	<u>R/G</u>	<u>Name</u>
Resource Allocation Rule:	2	S	1	R	TRCNC
		S	1	R	Operador
Step Code:	0	S	1	R	Disp. Fixação
Step Time	0,1200		0		
			0		
Free Check: (Y/N)	Y		0		
Hold Temporary Resources:	N				
(A) add (C)copy (D)delete (E)edit (F)find (L)list (N)next (P)previous (PF1)exit (PF2)help					

Figura 22. Tela de Definição de um *Jobstep* do Tipo Operação

Fonte.: Manual do FACTOR *Base System* - Vol 01 (1992)

Alternative Jobstep - seqüencial do *jobstep* alternativo, no caso do primeiro recurso estar indisponível (*Jobstep Selection Rule* = 1)

Resource Allocation Rule - regra para alocação dos recursos.

0 = alocar todos os recursos em qualquer ordem, um por vez, na medida em que ficarem disponíveis;

2 = alocar todos os recursos na ordem especificada, juntos como um grupo, mas não alocar nenhum até que todos estejam disponíveis.

Step Code - código para interpretar o *step time*.

0 = o valor do *step time* é o tempo total do *jobstep*

1 = o valor do *step time* é o tempo de ciclo por peça

Free Check - (Y/N) indica ou não erro na tentativa de liberar um recurso não alocado.

Hold Temporary Resources - (Y/N) indicando se um recurso deve ser mantido alocado a uma *load*, durante um intervalo ou trocas de turnos.

Resources Allocation - define e aloca os recursos necessários à execução da atividade.

Action Code - S (alocar o recurso no início do *jobstep* e liberar ao final).

H (alocar o recurso antes do início do *jobstep*)

E (liberar o recurso ao final do *jobstep*)

Units - é a quantidade de recursos necessários para a atividade.

R / G - Recurso ou Grupo de Recursos (respectivamente) .

Name - é o nome do recurso a ser utilizado, conforme cadastramento anterior.

O *jobstep* do tipo 1 corresponde a uma operação processamento, sendo utilizado quando se necessita apenas alocar um ou mais recursos para uma determinada atividade. Sozinho ele não é capaz de remover materiais do estoque (consumir) ou adicionar materiais ao estoque (correspondentes às peças produzidas). Quando se faz necessário movimentar estoques, esse *jobstep* pode ser empregado associado a outros dois: remover e adicionar materiais.

Como o próprio nome diz, os *jobsteps* remover e adicionar materiais são componentes específicos para movimentação de materiais dentro do roteiro. Ambos podem consumir recursos, independentemente daqueles consumidos na operação, como seria o caso de uma empilhadeira e um operador, empregados na movimentação de paletes com materiais. Como a atividade pode consumir um certo tempo para sua execução, este será somado ao *lead time* total de execução

da ordem. Se não existirem peças suficientes para atender à quantidade demandada por uma ordem (remover materiais) esta ficará parada, aguardando até que haja peças suficientes.

O *jobstep* montagem existe para definir mais facilmente um processo de montagem. Sua principal característica é poder executar, simultaneamente, até cinco remoções de materiais de uma única vez, representando os materiais necessários à execução de alguma montagem. Na eventualidade de não existir estoques suficientes, de um ou mais desses itens relacionados para remoção, a atividade fica suspensa até que os materiais sejam providenciados.

O *jobstep* produção equivale à soma de um *jobstep* do tipo operação com outro do tipo adicionar materiais. Nas situações onde a operação pode ser imediatamente associada à adição do item produzido ao estoque, este *jobstep* pode reduzir o tamanho do roteiro que está sendo construído.

Como o próprio nome indica, o *jobstep setup* é adequado para representar as atividades de preparação existentes no processo. Pode mobilizar recursos e ter duração própria fixa, mas sua principal característica é de informar ao sistema qual é a matriz de *setup* que representa as trocas num recurso específico. As matrizes de *setup* do sistema FACTOR são do tipo de/para, sendo que o próprio sistema controla as diferentes peças em processamento para efeito de acesso aos dados da matriz.

Como já foi dito anteriormente, as entidades que fluem através do modelo são chamadas de *loads*. Em geral, uma *load* contém uma ou mais peças de uma mesma ordem, mas também é possível criar *loads* com várias peças de diferentes ordens, a partir do emprego do *jobstep batch*. Um exemplo típico de *batch* é o agrupamento de peças diferentes para formação de uma carga (*load*) para tratamento térmico em um forno. Faz parte do processo de *batching* desmembrar esse lote de peças diferentes e devolvê-las aos seus roteiros originais de fabricação.

O *jobstep* acumular/dividir serve para manipular o tamanho das *loads* de uma mesma ordem. No limite, pode-se fazer uma ordem inteira igual a uma *load*, como por exemplo, 50 peças equivalerem a uma *load*. No outro extremo, é possível transformar cada peça em uma *load* independente. Como a *load* é a entidade que flui pelo sistema, essa pode ser interpretada como um lote de transferência. Se uma *load* corresponder a uma peça, ela segue adiante no sistema tão logo seja processada; mas se esta for constituída de dez peças, só poderá seguir após o processamento de todas as dez peças. O agrupamento de peças em uma *load* para fins de paletização e transporte é uma atividade comum nos sistemas produtivos, sendo perfeitamente modelada através desse recurso.

O *jobstep* selecionar é utilizado no caso de existirem mais de um roteiros alternativos, lembrando que o campo *Alternative Jobstep* (ver Figura 22, neste mesmo capítulo) pode fazê-lo quando só existe uma única opção. A regra básica de desvio até um roteiro alternativo é a indisponibilidade de recursos. Não foram encontradas outras opções de seleção, como por exemplo, o uso de roteiros especialmente montados para empregar itens alternativos na estrutura de produto, condição esta que dificulta a montagem de modelos com o emprego de peças alternativas para a montagem do produto.

Os portões são *jobsteps* colocados no roteiro de produção para sincronizar duas ou mais atividades. Sua característica é reter *loads* até que recebam um sinal e efetuem a sua liberação. Este sinal pode ser produzido em outra etapa do mesmo roteiro ou em outros roteiros do sistema.

Finalmente, entre os *jobsteps* mais importantes encontra-se aquele destinado a representar as operações de inspeção. Procede a seleção de peças defeituosas através de um índice percentual, definido no próprio *jobstep*, e desvia as respectivas *loads* até as etapas correspondentes a algum retrabalho ou mesmo à sua remoção definitiva do sistema (sucateamento).

A Figura 23 apresenta um diagrama com as relações entre os componentes básicos do sistema. O componente ordem é composto de cargas (*loads*) as quais equivalem às entidades que viajam pelo sistema mas, como usualmente a simulação não inicia com a fábrica vazia, o componente cargas em processo permite a introdução das *loads* em processamento no instante zero da simulação. A ordem também identifica outros dois componentes: as peças que serão produzidas e os respectivos roteiros de fabricação. Como foi explicado acima, os roteiros são montados através das etapas (*jobsteps*) as quais, entre seus vários eventos e decisões, alocam recursos e movimentam materiais. O componente calendário controla os dias não úteis ao longo do período de simulação, interrompendo todas as atividades de produção ao longo de 24 horas. A manutenção de recursos pode, por sua vez, indisponibilizar um determinado recurso durante um determinado espaço de tempo. Tal mecanismo permite a representação de paradas para a manutenção preventiva dos equipamentos. Não há possibilidade de modelagem no que diz respeito às falhas em serviço e manutenções corretivas porque a versão disponível do sistema é determinística. Essa condição exigiria alterações nos algoritmos do produto, incluindo a disponibilização de funções estatísticas.

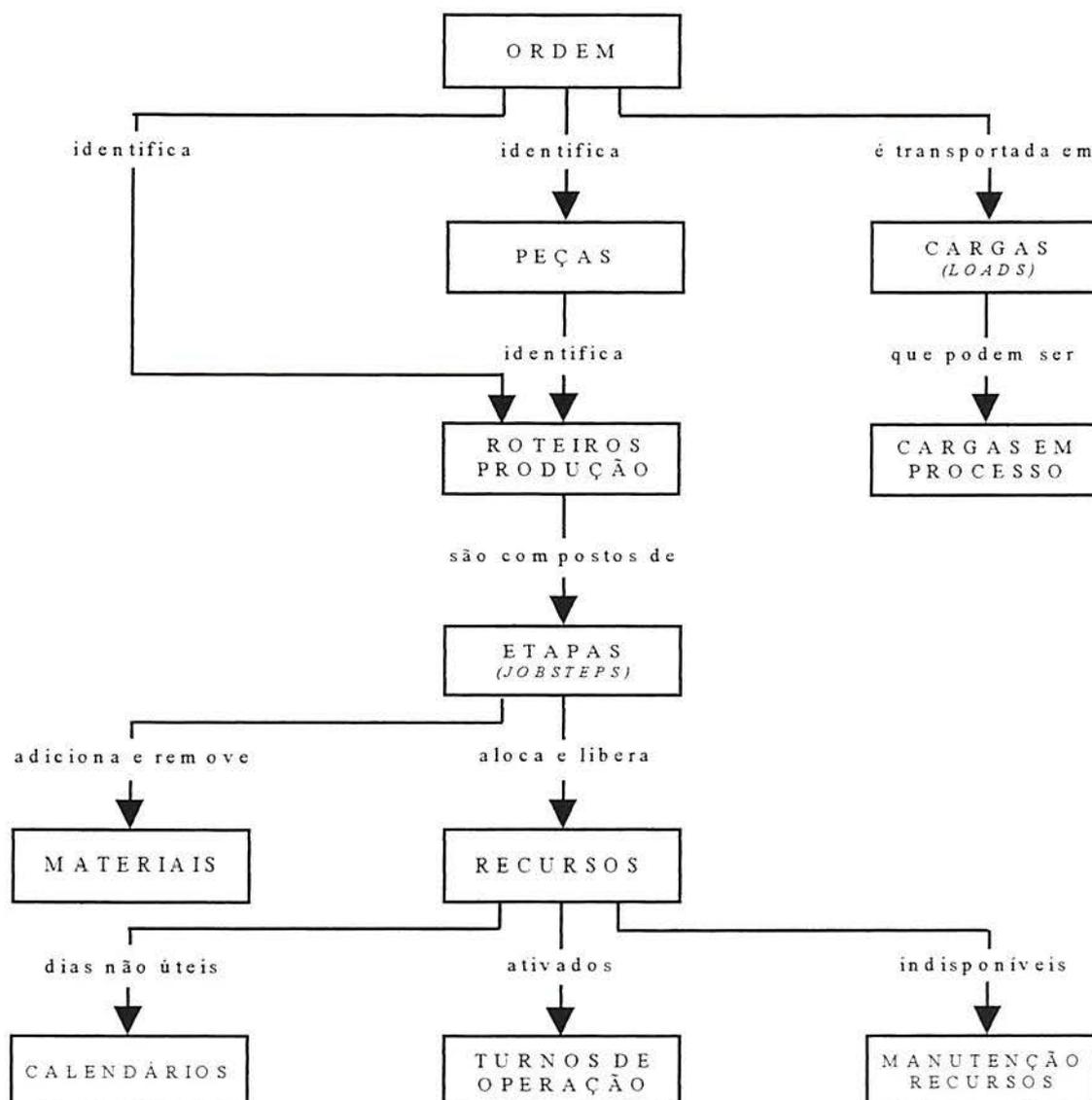


Figura 23. Relações entre os Componentes Básicos do Sistema FACTOR

Fonte: Manual do FACTOR *Base System* - Vol 01 (1992)

6.2. O Módulo SDM (*Schedule Development Module*)

O módulo SDM é um dos aplicativos integrados do sistema FACTOR de capacidade finita. As principais tarefas desse módulo incluem a configuração do modelo, a simulação propriamente dita, a análise dos resultados e a emissão de diversos relatórios voltados à programação. O SDM emprega simulação discreta, por eventos, para avaliar as condições de execução de um conjunto de ordens de fabricação, antecipando os prováveis fluxos de produção, disputas por recursos e possíveis gargalos, oscilações dos estoques, faltas de materiais e,

especialmente, estimando datas mais precisas de conclusão das ordens. Ainda é capaz de gerenciar o emprego de ferramentas, dispositivos e paradas programadas de manutenção preventiva.

Os resultados das simulações são avaliados de forma interativa, de modo que o analista pode identificar a origem dos problemas, criar e testar soluções. Por exemplo: se uma ordem não pode ser concluída na data desejada, o analista pode identificar que operações do roteiro estão causando esse atraso e porquê. O SDM oferece uma variedade de relatórios standard de performance global do sistema produtivo, das ordens de fabricação, dos recursos produtivos e suas utilizações e dos níveis dos estoques de materiais. Os relatórios de exceção apresentam problemas encontrados durante a simulação, como por exemplo ordens atrasadas e gargalos de produção, facilitando a identificação e a ação sobre os pontos críticos. Também existem relatórios voltados à comparação entre as alternativas simuladas, os quais permitem ao analista decidir qual delas melhor satisfaz os objetivos gerais de produção.

Os programas de produção, gerados no SDM, incluem recursos e materiais. Para cada ordem são programadas as datas e horas de início e fim de suas operações de processamento, de acordo com os respectivos roteiros de fabricação. A mesma informação pode ser analisada do ponto de vista do recurso, permitindo a visualização das operações que serão executadas em um determinado recurso ao longo do período de simulação.

O módulo SDM possui interfaces que suportam a alimentação de dados automática ou manualmente. Todas as suas funções podem ser acessadas através das suas interfaces de operação como: recuperação e coleta de dados, edição, construção de modelos, execução de simulações com múltiplos cenários e relatórios de performance.

6.3. O Módulo SMM (*Schedule Management Module*)

O módulo SMM é outro aplicativo do sistema FACTOR, entretanto é dependente do módulo SDM. É uma ferramenta de programação gráfica que proporciona recursos para revisar e rapidamente ajustar uma programação gerada no módulo de *schedule*. Os programas são apresentados na forma de gráficos de Gantt, permitindo uma visualização clara quanto à programação das ordens, das operações e dos recursos. O SMM possui um conjunto de ferramentas de edição, selecionadas através do *menu* e do *mouse*, sendo que as alterações editadas em um gráfico são automaticamente transferidas aos demais. Determinadas alterações,

executadas no módulo SMM também podem ser transferidas de volta ao SDM, atualizando seu banco de dados.

6.4. Hardware e Sistemas Operacionais

Em relação ao *hardware* mais adequado, o sistema integrado FACTOR utiliza servidores de porte como o IBM RS/6000 ou IBM AS/400 com os sistemas operacionais AIX ou OS/400, respectivamente. Os módulos SDM (*Schedule Management*) e AIM (*Capacity Engineering*) podem rodar em equipamentos do tipo IBM PS/2 ou compatíveis, sobre o sistema operacional OS/2 versão 2.0 ou posterior.

A versão do FACTOR utilizada neste trabalho foi a 4.2, disponível para sistema operacional OS/2 da IBM. A documentação de instalação é datada de outubro de 1992, tratando-se, portanto, de uma versão mais antiga do sistema, onde as exigências de *hardware* são relativamente modestas, quando comparadas as capacidades atuais de processamentos dos computadores pessoais. O *hardware* recomendado consiste num microcomputador com processador 80486, *hard disk* com espaço de 10 Mb para o *software* e, aproximadamente, mais 10 Mb para cada modelo implementado.

6.5. Método de Implantação Proposto pelo Fornecedor

De acordo com o Manual do FACTOR *Version 4.2*, volume 01 *Base System* (1992), o processo de implantação do sistema requer um conjunto de passos comuns, independente do tipo de produto e sistema produtivo a ser modelado. Inicialmente, o processo de implantação deve ser estruturado através da formação de uma equipe de trabalho especialmente definida para o projeto. Essa equipe precisa reunir três tipos de habilidades diversas:

- a) conhecimento do chão-de-fábrica e gerenciamento do processo produtivo;
- b) habilidades nas áreas de planejamento e análise de processos produtivos, preferencialmente com experiência em simulação computacional;
- c) suporte na área de análise de sistemas e hardware.

Um *project leader* deve ser designado para coordenar a equipe e o desenvolvimento do projeto como um todo. Entre outras qualificações, essa pessoa deverá ser especialista em, pelo menos, uma das habilidades mencionadas acima.

Os analistas de processo devem assumir a responsabilidade de desenvolver e testar o *scheduling model*. Entretanto, o processo deve ser conduzido pelos membros da equipe que conhecem e gerenciam o processo produtivo, adequando ao máximo os recursos da ferramenta às necessidades funcionais do chão-de-fábrica. É extremamente importante que o pessoal de produção examine periodicamente o trabalho em andamento, validando o modelo em construção. Os especialistas em informática apoiam o desenvolvimento do modelo, tratando das customizações necessárias, interfaceamento, transmissão de dados, adequação de *hardware*, etc.

De acordo com o manual do produto, o processo de implantação pode ser dividido em 5 grandes fases:

- a) escopo do projeto;
- b) desenvolvimento do modelo;
- c) fase de integração;
- d) validação;
- e) manutenção.

Essas fases não acontecem necessariamente separadas, diversas tarefas são desenvolvidas em paralelo e de forma interativa.

A fase denominada de escopo serve de base para todo o projeto e consiste, essencialmente, numa etapa de planejamento e definições básicas que balizarão todo o trabalho. Entre os aspectos que devem ser considerados na fase escopo temos: os limites do projeto, o nível de detalhamento que o sistema de programação deve atingir, as áreas e os equipamentos envolvidos, os objetivos globais, etc. Há uma ênfase no estabelecimento dos objetivos do projeto, os quais devem ser atingíveis, perfeitamente quantificáveis e mensurados ao longo do processo de implementação. Durante essa etapa, a equipe de projeto deve elaborar um plano de trabalho contendo as atividades, cronograma, recursos e custos associados.

As definições básicas do modelo envolvem quais os recursos que serão modelados, o encadeamento entre eles e o nível de detalhamento requerido. Por exemplo, se duas estações de trabalho operam intimamente interligadas, pode não ser necessário gerar programações separadas. O modelo deve ser simplificado tanto quanto possível sem, entretanto, comprometer a representatividade do sistema real de produção.

A fase de escopo deve examinar a quantidade e a qualidade dos dados requeridos para suportar o modelo de simulação. Aspectos como a coleta e geração de dados, transmissão,

interfaces, armazenagem dos dados, rotinas para recuperação de dados e atualização desses dados precisam ser previamente consideradas. A geração de *schedules* precisos é altamente sensível à qualidade dos dados de entrada. Também como regra geral, o modelo não deve ser desenvolvido para trabalhar com dados mais precisos do que os disponíveis.

A etapa seguinte consiste, essencialmente, no desenvolvimento do modelo de simulação, através do qual os *schedules* serão gerados.

É recomendável iniciar o desenvolvimento com a elaboração de um modelo simplificado do sistema produtivo. Esse protótipo tem o propósito de representar o fluxo básico de produção, isolar pontos críticos e demonstrar os conceitos básicos de programação a serem empregados. O protótipo servirá como um meio de comunicação entre a equipe de trabalho, os usuários da fábrica e demais envolvidos. Seu detalhamento deve ser postergado às etapas posteriores de desenvolvimento, quando o sistema poderá ser examinado como um todo. O restante da fase de desenvolvimento é geralmente interativo, onde a lógica é incrementada até o nível de precisão necessário. A idéia básica consiste em desenvolver um modelo do simples para o sofisticado, onde as pessoas adquirem experiência e conhecimentos que contribuem decisivamente para o refinamento do modelo.

A terceira etapa trata da integração do *software* com os demais sistemas de informação da empresa. Usualmente a maioria dos dados necessários podem ser obtidos nos sistemas de gestão do tipo *Manufacturing Resources Planning* (MRPII). Esses sistemas não só geram as ordens de produção, através do cálculo dos requisitos de materiais, como também possuem muitas informações utilizadas nos roteiros de produção, cadastramento de recursos e materiais, calendário, etc (2).

A validação, embora assinalada como uma fase, ocorre ao longo de todo o processo de desenvolvimento do modelo. Consiste, essencialmente, no confronto entre os resultados gerados pelo sistema virtual e o comportamento real do chão-de-fábrica, de modo que o primeiro seja representativo. Dois aspectos gerais devem ser considerados durante o processo: a acurácia dos dados e a do próprio modelo, esse último, especialmente em relação ao fluxo de materiais e decisões lógicas. O sistema deve simular a realidade, de forma que os programas sejam seguidos e os resultados antecipados.

(2) Outras informações, como por exemplo: matriz de setup, lotes de transferência, grupos de recursos, regras de alocação de recursos, situação das ferramentas, regras de sequenciamento, etc deverão ser obrigatoriamente cadastradas no banco de dados próprio do sistema FACTOR, pois não são comuns aos sistemas MRPII.

A última etapa proposta consiste na manutenção e suporte. Antes da introdução do sistema como ferramenta de programação no chão-de-fábrica, é preciso providenciar treinamento adequado aos usuários e o estabelecimento de uma estrutura de suporte. As pessoas que participaram da equipe de projeto são candidatas qualificadas para a montagem de uma estrutura de suporte, isso considerando os conhecimentos e a experiência adquiridos ao longo do processo de desenvolvimento do modelo computacional. Toda a documentação relativa ao projeto deve ser concluída nessa última etapa. Servirá de fonte de consulta tanto para o pessoal de suporte quanto de programação. A documentação é de extrema importância na manutenção do sistema no longo prazo.

A descrição sumária do método de implantação, proposto pela *software house* a qual já coordenou diversas implementações do produto, é importante não só por ser um modelo experimentado, como também por transmitir adequadamente uma idéia da complexidade e do esforço necessário.

CAPÍTULO 7

O MODELO FABRIL DE EXPERIMENTAÇÃO

7.1. Características do Sistema Produtivo e Condições Operacionais

7.1.1. Informações Sobre a Empresa

Os ensaios foram realizados na empresa Pirelli Pneus, na unidade localizada em Gravataí no estado do Rio Grande do Sul. Seu objetivo é a fabricação de pneumáticos, do tipo convencional, para caminhões, tratores (apenas pneus dianteiros), camionetas, automóveis, veículos industriais, motocicletas, ciclomotores, *scooters* e bicicletas.

A fábrica ocupa aproximadamente 59.000 m² de área construída e está dividida em três unidades produtivas independentes: a Unidade Produtiva Massas e Semi-Prontos (UPMS), a Unidade Produtiva Auto (UPA) que fabrica pneus para veículos de quatro rodas e a Unidade Produtiva MotoVelo (UPMV), a qual produz todo tipo de pneus destinados à aplicação em veículos de duas rodas. A Unidade Produtiva Massas e Semi-Prontos é, essencialmente, fornecedora de itens intermediários para as demais unidades, embora a UPMV também produza alguns produtos intermediários para o seu consumo e da unidade UPA. Cada unidade produtiva possui uma estrutura independente, contando com especialistas próprios de manutenção, qualidade, programação e melhoramento contínuo. A fábrica ainda conta com um setor de utilidades que administra a distribuição e o consumo de energia elétrica, uma central térmica de geração de vapor, a produção e distribuição de ar comprimido e outros fluídos.

A Pirelli Gravataí emprega cerca de 965 funcionários horistas, ligados diretamente às atividades de produção, qualidade e manutenção. As atividades administrativas e de coordenação são executadas por 74 funcionários mensalistas. O comando geral da fábrica está ao cargo de cinco executivos: um gerente geral, três gerentes de unidades produtivas (UPMS, UPA e UPMV) e um gerente de recursos humanos. A estrutura das Unidades Produtivas é bastante enxuta, funcionando basicamente com três níveis hierárquicos: gerência, supervisão e gestores. Os gestores são operários, com capacidade de liderança, que coordenam diretamente uma equipe denominada de time de trabalho. A gerência de fábrica conta com um *staff* nas áreas de qualidade, planejamento e organização, mais projetos e serviços, os quais prestam suporte às atividades das unidades de produção.

A Pirelli é um empresa transnacional italiana que opera no Brasil há mais de 70 anos e, além da unidade de Gravataí, possui outras fábricas instaladas no país: em Campinas, Santo André e Sumaré no estado de São Paulo e Feira de Santana na Bahia. Na cidade de Santo André

operam a Pirelli Pneus Santo André e a Pirelli Cabos, a qual é especializada na produção de fios e cabos destinados à condução de energia elétrica e comunicações. A unidade de Sumaré produz “cordinhas” metálicas que são componentes estruturais utilizados na fabricação de pneus radiais.

7.1.2. Os Produtos e o Sistema Produtivo

A unidade Pirelli Pneus de Gravataí pode ser classificada, segundo a tipologia V-A-T proposta por Umble (1992), como uma empresa do tipo A, com fabricação de diversos componentes intermediários, em operações paralelas, os quais são reunidos numa operação tipicamente de montagem denominada confecção. Em relação ao atendimento à demanda, a empresa se enquadra como “produção para estoques” ou *make-to-stock*, embora também produza lotes específicos para pedidos especiais, como no caso de um pedido de pneus para a Honda do Japão. É importante destacar que o ambiente de manufatura é do tipo repetitivo intermitente. Os produtos são conhecidos e produzidos continuamente durante intervalos de tempo discretos, até a conclusão dos lotes previstos, momento em que o processo final, denominado vulcanização, passa pela preparação visando a produção de outra medida. Naturalmente, os processos anteriores sofrem as suas respectivas trocas antecipadamente, passando a produzir os componentes e as carcaças necessárias a alimentação dos vulcanizadores. Na medida em que os estoques de um pneu, localizados nos centros de distribuição regionalizados, vai diminuindo, o produto volta a ser produzido na fábrica. Determinados pneus são produzidos ininterruptamente durante todo o mês, sendo que os seus volumes diários de produção são ajustados à demanda externa.

A negociação do Plano Mestre de Produção é realizada diretamente com o Departamento Comercial e tem horizonte mensal. Essa negociação, denominada de aceite, acontece entre os programadores das unidades produtivas e a área comercial, onde são discutidas as necessidades do mercado e a capacidade de atendimento, de acordo com as restrições de produção existentes. Os cálculos de capacidade são do tipo bruta e executados manualmente ou com o auxílio de planilhas eletrônicas. O Plano Mestre sofre ajustes semanais igualmente negociados entre os programadores e o departamento comercial. Os planejamentos de médio e longo prazos são executados pela Gerência de Planejamento Industrial, localizada em São Paulo, juntamente com a área de Planejamento Operacional de Gravataí mais os especialistas em eficiência e processo das unidades produtivas. Os volumes agregados de produção são avaliados no que diz respeito à capacidade produtiva e os investimentos necessários definidos.

O volume de produção atual de produção está em 157 toneladas/dia de produtos, com uma previsão de alcançar, até o final do ano 2000, o montante de 190 toneladas dia. Duas linhas principais estão em fase de ampliação: a linha de pneus para motocicletas e de pneus para ônibus e caminhões, chamada de linha gigante. A área construída está sendo ampliada em 12.200 m², devendo atingir um total de 71.200 m², até o final do ano.

A estrutura do produto pneu pode variar bastante, de acordo com a aplicação a que se destina. A Figura 24 representa uma estrutura de produto típica simplificada para um pneu convencional, mas transmite uma noção clara dos principais itens que compõem o produto e de como este é produzido.

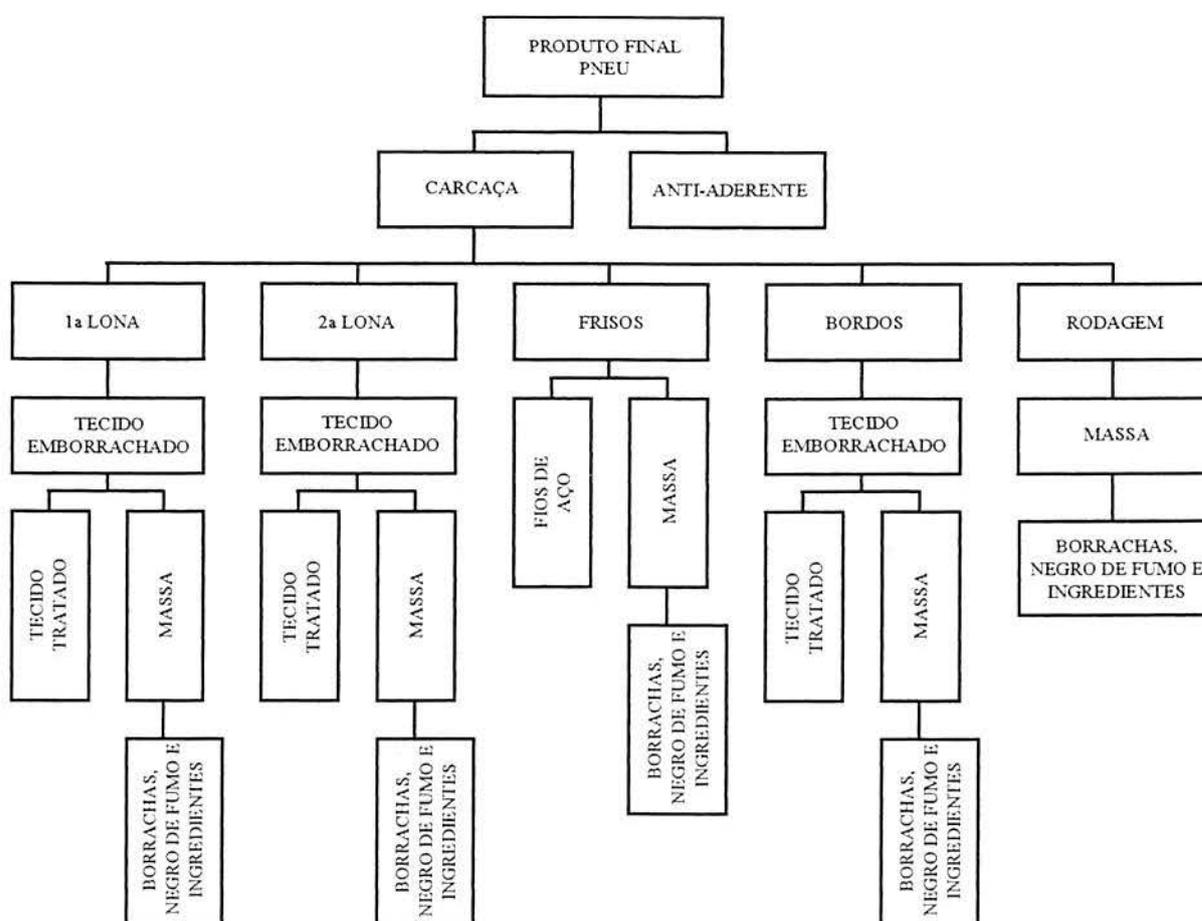


Figura 24. Estrutura Simplificada de um Pneu

A produção de massas representa o início do processo produtivo. As massas são compostas por uma mistura de borracha natural, borracha sintética, negro de fumo e outros ingredientes, que posteriormente serão transformadas em diversos itens intermediários. Durante a etapa final de produção, as várias massas utilizadas na confecção dos pneus sofrem um

processo de cura sob pressão e temperatura, transformando-se no componente borracha exatamente como o consumidor a reconhece no produto final.

As massas são empregadas diretamente na produção de todos os demais itens intermediários. Os tecidos de *nylon* e poliéster, os quais são matérias primas, recebem uma fina camada de massa no processo denominado emborrachamento têxtil, sendo transferidos em seguida para a área de corte e transformados nas lonas dos pneus. A área de corte possui vários equipamentos comumente designados como cortadeiras. As lonas são componentes estruturais dos pneus e, dependendo do produto, são aplicadas em uma camada (uma lona), duas camadas (duas lonas), três camadas (três lonas) e assim por diante. Em geral quanto mais “pesada” a aplicação do produto final, maior o número de lonas na sua estrutura. Todas as primeiras lonas recebem uma ou duas camadas finas de massa em um dos seus lados denominadas folhetas, as quais formam a parte interna dos pneus. A aplicação das folhetas acontece nas calandras de folhetagem.

Outros tipos de massas são empregadas na fabricação das rodagens, que correspondem à parte do pneu que tem contato com a pista, num processo de extrusão a quente denominado de trafilagem. As rodagens são produzidas com massas e perfis de extrusão diferentes (matrizes), dependendo do tipo de pneu a ser fabricado.

Os frisos são outro tipo de componente estrutural, produzidos a partir de fios de aço também recobertos com uma fina camada de borracha. São especificados pelo respectivo diâmetro do fio de aço, pelo número de voltas e pela quantidade de fios que são enrolados em paralelo. Cada pneu possui, pelo menos, dois frisos que realizam o contato do pneu com o aro (sob uma camada de borracha e tecido protetores), transmitindo a potência do motor do aro para os pneus e os esforços do pneus para o aro. Os frisos também são protegidos por tiras de tecido emborrachado denominadas de bordos. Os bordos são confeccionados a partir de peças de tecidos produzidos no emborrachamento têxtil, cortados em bobinas pelas cortadeiras e depois transferidos para outro equipamento que executa um segundo corte das bobinas em tiras (rolos). Na Figura 25, a produção de bordos propriamente dita, acontece no setor denominado corte de bordos.

Os principais itens necessários à produção de um pneu são: as lonas (1^a, 2^a, 3^a...), os frisos, a rodagem e os bordos. Todos esses componentes devem ser produzidos de forma sincronizada para um processo de montagem da carcaça denominado de confecção. A sincronização de todos os itens intermediários, antes da operação de confecção, é uma tarefa complexa. Após a montagem das carcaças, estas são transferidas até o processo seguinte,

chamado de vulcanização. Cada vulcanizador opera com duas matrizes conhecidas como moldes porque conferem a forma final ao produto, produzindo dois pneus em cada ciclo de vulcanização. Os moldes são usinados em alumínio ou aço inoxidável, apresentando em baixo relevo todas as inscrições, desenhos e ranhuras que o produto final possui. Como já foi dito anteriormente, a vulcanização é o processo onde as carcaças sofrem a cura final dos compostos de borracha, sob condições controladas de pressão e temperatura. Entre a confecção e vulcanização não há agregação de materiais, apenas a aplicação de um produto anti-aderente e desmoldante chamado boiaca, para evitar a aderência da carcaça ao molde. Na linha de pneus para caminhões e ônibus, ainda existe um processo de conformação da carcaça, logo após a confecção.

O processo de vulcanização é que determina o ritmo da produção, “puxando” materiais dos processos anteriores. O objetivo geral da programação é manter um estoque de carcaças médio igual a cinco horas de vulcanização por medida. Esse *buffer* representa um estoque de segurança que ajuda a manter os vulcanizadores operando continuamente, o que, em tese, assegura o volume e o *mix* de produção acordados com o departamento comercial. Tratando-se de uma condição de manufatura repetitiva, é usual o emprego de *buffers* entre os diversos processos, amortecendo as variabilidades do sistema produtivo

O *layout* é tipicamente funcional, como mostra o diagrama da Figura 25, abaixo. Uma parcela das áreas de confecção e vulcanização, assinaladas com um retângulo, serão o objeto dos ensaios com o sistema FCS em estudo.

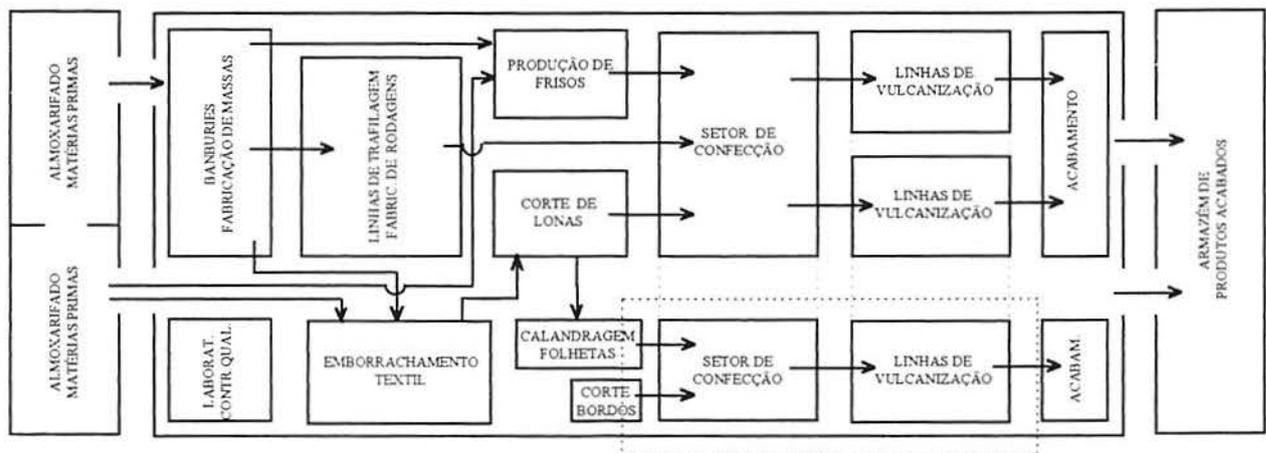


Figura 25. Diagrama Esquemático do *Layout* e Fluxos de Produção

Os transportes são executados por meio de empilhadeiras, rebocadores (tratores) e esteiras rolantes, sendo que estas últimas são empregadas mais no final do processo, entre a vulcanização e o acabamento e entre o acabamento e o armazém de produtos acabados. Na área de banburies, também existem esteiras de transporte para as fases intermediárias de fabricação das massas.

A fábrica opera 24 horas por dia, em regime de três turnos de revezamento, seis dias por semana, conforme segue:

- a) primeiro turno das 22h00 até às 06h00 do dia seguinte;
- b) segundo turno das 06h00 até as 14h00;
- c) terceiro turno das 14h00 até as 22h00.

No sábado o segundo turno termina uma hora antes, ou seja às 13h00 e o terceiro turno encerra às 20h00, completando a jornada semanal de trabalho dos operários.

Para efeito deste trabalho, decidiu-se focalizar os ensaios entre as operações de confecção e vulcanização da linha denominada gigante. Os motivos para a escolha são os seguintes:

- a) importância do processo de vulcanização no atendimento ao Plano Mestre de Produção;
- b) a necessidade de uma programação mais precisa entre os processos de confecção e vulcanização;
- c) a facilidade de isolamento de um conjunto bem determinado de confeccionadoras que trabalham para outro conjunto específico de vulcanizadores;
- d) a condição de trabalhar com uma linha completa de produtos;
- e) a modelagem de alguns dos processos anteriores seriam muito complexos para o escopo do trabalho;
- f) ao contrário do item anterior, outros processos representariam um caso muito simples para efeito das análises.

Dentro da linha de pneus convencionais para ônibus e caminhões, foram selecionados oito produtos nas medidas 9.00 X 20 e 10.00 X 20. Desses oito modelos, cinco pertencem à medida 9.00 X 20, denominados para efeito desse trabalho como pneus A, B, C, D, e E, e três pneus na medida 10.00 X 20 designados por pneus F, G e H.

7.1.3. Detalhamento da Confeção e Vulcanização da Linha Gigante

O fluxograma da Figura 26 apresenta uma visão mais detalhada das atividades desde a área de confecção até a vulcanização da linha gigante, de acordo com a simbologia de representação dos processos produtivos de Shingo (1996).

As operações de confecção da linha gigante são tipicamente operações de montagem das quais resultam um produto semi-elaborado, designado como carcaça crua. Partindo do pressuposto que o foco dos ensaios está entre a confecção e a vulcanização, considera-se que o estoque de componentes necessários à produção das carcaças seja infinito e não haverá movimentações de estoque desses materiais no modelo virtual.

O *layout* é funcional, sendo as confeccionadoras agrupadas em duas linhas principais. A linha 01 é composta por seis confeccionadoras, designadas pela numeração seqüencial de 01 a 06, dedicadas à confecção das carcaças das medidas 10.00 X 20. Qualquer um dos pneus F, G ou H pode ser processado nessas máquinas, desde que executada a respectiva atividade de preparação.

A linha 02 é composta de sete confeccionadoras, designadas pela numeração de 07 a 13, dedicadas à confecção das carcaças pertencentes à medida 9.00 X 20. Qualquer um dos cinco produtos pertencentes à medida dos 9.00 X 20 (pneus A, B, C, D, e E) pode ser confeccionado nessas máquinas, demandando apenas a preparação correspondente.

O tempo de processamento depende do pneu a ser produzido. O nível de automação não permite a separação homem/máquina, nem a aplicação dos princípios de automação. A preparação das confeccionadoras, em ambas as linhas, é realizada pelos próprios operadores e apresenta um tempo de duração muito semelhante para todos os produtos. A confecção da linha gigante trabalha 24 horas por dia e mantém uma equipe de operadores para cada turno de trabalho.

Após a confecção, as carcaças são transportadas até a operação de emboiacamento em carrinhos puxados por um trator (rebocador), o qual atende a todas as confeccionadoras. Cada rebocador demanda um operador por turno. O lote de transferência das carcaças cruas dos pneus 9.00 X 20 é de cinco unidades e dos pneus 10.00 X 20 é de quatro unidades, determinado pela capacidade dos carros de transporte. Pode haver um tempo de espera para o transporte do lote, em função da disponibilidade do rebocador, o qual só transporta um carro por vez.

SIMBOLOGIA	DESCRIÇÃO
	Lote Esperando o <i>Setup</i> da Confeccionadora
	Operação de Confeção (Montagem) da Carça
	Espera para formação do lote de Transporte
	Lote Esperando para Transporte
	Transporte
	Lote Esperando Aplicação de Anti-Aderente (Operação de Emboiamento)
	Operação de Emboiamento
	Tempo de Secagem da Carça
	Espera para formação do lote de Transporte
	Lote Esperando para Transporte
	Transporte
	Operação de Conformação
	Espera para formação do lote de Transporte
	Lote Esperando para Transporte
	Transporte
	Lote Esperando o <i>Setup</i> do Vulcanizador
	Vulcanização da Carça

Figura 26. Fluxograma dos Processos de Confeção e Vulcanização.

A operação de emboiamento consiste na aplicação da boiaca, um líquido anti-aderente que auxilia na desmoldagem do pneu vulcanizado, e ocorre através de pistolas do tipo *airless*. Somente uma emboiacadeira está envolvida com a produção dos pneus da linha gigante, embora essa atenda também a outras linhas. No emboiamento não há necessidade de preparação, mas o equipamento requer uma equipe de dois operadores por turno e trabalha em regime de três turnos. Concluída a operação de emboiamento, a carça muda de nome passando de carça crua para carça emboiada. Há uma espera tecnológica de aproximadamente uma hora, correspondente à secagem da boiaca. Esse tempo varia de acordo com as condições climáticas, podendo até dobrar em dias frios e úmidos.

As carcaças emboiadas são acumuladas em lotes de 10 unidades para efeito de transporte, o qual é executado pelo operador do processo posterior: a conformação. O tempo de transporte é absorvido pelo tempo de secagem da boiaca. A conformação, como o próprio nome sugere, é uma operação que altera a forma física da carcaça aproximando-a da forma de um pneu. Sem ela, não é possível colocar a carcaça no molde de vulcanização porque a forma da carcaça emboiada ainda é muito diferente da forma do produto final. Existem duas conformadoras, uma dedicada aos produtos da medida 9.00 X 20 e outra dedicada aos produtos da medida 10.00 X 20, não havendo, por isso, necessidade de realização de *setups*. O tempo de processamento é igual para ambas as medidas. Cada conformadora necessita de um operador por turno de trabalho. A conformação acompanha a confecção e o emboiamento, trabalhando em regime de três turnos.

As carcaças conformadas são acumuladas em lotes de oito unidades, que é a capacidade do carro de transporte, e deslocadas até os vulcanizadores. O transporte das carcaças, entre a conformação e a vulcanização, é realizado por outro rebocador dedicado ao abastecimento dos vulcanizadores, mas esse equipamento não atende apenas à linha gigante. O rebocador é operado por três motoristas, um para cada turno.

A vulcanização é o processo de cura final do produto, o qual também lhe confere a forma definitiva. Como já foi dito, cada vulcanizador opera com dois moldes simultaneamente, porém a troca de um molde implica na paralisação da produção do outro. A instalação de dois moldes diferentes, num mesmo vulcanizador, permite a produção de dois tipos de pneus a cada ciclo de máquina. Existe uma pequena tolerância, definida por norma, quanto à possível variação no tempo de vulcanização dos pneus, no que diz respeito à instalação de moldes diferentes em um mesmo vulcanizador. No caso das medidas 9.00 X 20 e 10.00 X 20, as carcaças são sempre processadas aos pares, o que exclui essa condição anterior do problema de modelagem.

Existe a aplicação do conceito de autonomia na área de vulcanização, de tal forma que um funcionário é capaz de operar vários vulcanizadores ao mesmo tempo. Após a alimentação do equipamento, o ciclo de vulcanização segue, independente do operador, mas controlado por dispositivos que monitoram os parâmetros de processo. Os tempos de mão-de-obra equivalem ao abastecimento e o desabastecimento do vulcanizador e são inferiores ao tempo total de “queima”. Por turno, existem seis operadores para atender a um total de 28 vulcanizadores. A vulcanização também trabalha 24 horas por dia, em regime de três turnos.

A preparação dos vulcanizadores é uma operação complexa, realizada por uma equipe específica de manutenção e não requer a presença dos operadores. O tempo total de *setup*

compreende a retirada dos moldes que saem, a instalação dos moldes que entram e mais um período de pré-aquecimento, correspondente a um ciclo de vulcanização dos pneus que passarão a ser produzidos. Dadas as atuais condições dos equipamentos, ainda não é possível realizar um pré-aquecimento *off line* visando abreviar o tempo de preparação.

Um fator restritivo à vulcanização é a quantidades de moldes disponíveis para cada tipo de pneu. A Tabela 16 apresenta os moldes de vulcanização disponíveis, de acordo com os tipos de pneus: A, B, C, D, E, F, G, e H.

Produto	Moldes Disponíveis
Pneu A	04
Pneu B	06
Pneu C	10
Pneu D	04
Pneu E	10
Pneu F	04
Pneu G	12
Pneu H	08

Tabela 16. Quantidade de Moldes por Tipo de Pneu

Os 28 vulcanizadores, atualmente mobilizados na produção da linha gigante, são utilizados de forma compartilhada pelo diversos produtos. A Tabela 17 apresenta a condição de compartilhamento para o *mix* de produção considerado neste trabalho

Produto	Compartilhamento
Pneu A	01 a 10; 16 a 18
Pneu B	01 a 10; 16 a 18
Pneu C	11 a 15; 19 a 23
Pneu D	11 a 15; 19 a 23
Pneu E	11 a 15; 19 a 23
Pneu F	24 a 28
Pneu G	01 a 10; 16 a 18; 24 a 28
Pneu H	01 a 10; 16 a 18; 24 a 28

Tabela 17. Compartilhamento dos Vulcanizadores pelos Pneus

7.1.4. A Programação e o Controle da Produção

A estrutura de Planejamento e Controle da Produção da empresa pode ser classificada,

de acordo com Sacomano (1990), como do tipo sistema de PCP convencional auxiliado por computador. A característica principal desse sistema é o emprego de processamento de dados para automatizar os procedimentos manuais tradicionalmente empregados pela função de Planejamento, Programação e Controle da Produção sem, no entanto, modificar a sua natureza.

O plano de produção mensal, após o aceite e produção, é dividido em Planos Mestres semanais. Como já foi mencionado anteriormente, os cálculos de capacidade são realizados manualmente ou com o auxílio de planilhas eletrônicas, sendo enquadrados dentro da categoria cálculo de capacidade bruta. Todos os dias são emitidas ordens de confecção e vulcanização, de acordo com o Plano Mestre em curso. O lógica geral de programação consiste em manter uma cobertura de estoques, entre a confecção e vulcanização, igual a cinco horas de produção da vulcanização, exceto quando um produto está saindo de produção. No caso, o item sofre um processo chamado internamente de nivelamento, que representa o ajuste contínuo das quantidades de todos os componentes necessários à confecção da carcaças, de modo que não existam sobras de materiais intermediários após a conclusão do lote. O cálculo das quantidades de carcaça a serem confeccionadas é realizado levando-se em consideração as necessidades da vulcanização mais a manutenção do *buffer* de cinco horas. Em um determinado momento pode ser necessário recuperar o estoque de segurança, isso significa que a ordem de confecção será maior do que a produção prevista para a vulcanização. Por outro lado, se o estoque intermediário estiver muito elevado, certamente o número de carcaças confeccionadas será menor do que a necessidade da vulcanização, causando a absorção de parte desse estoque. As variabilidades do sistema produtivo como um todo são significativas, o que implica em mudanças diárias e substanciais nos programas de confecção, de acordo com a criticidade dos estoques.

O controle de produção é exercido através de um sistema de coleta de dados de chão-de-fábrica denominado de *Shop Floor*, onde é possível monitorar *on line* a produção de ambas as áreas: confecção e vulcanização, máquina por máquina. Além da informação disponível no sistema, o programador utiliza os dados resultantes de contagens diárias dos estoques intermediários e das próprias ordens de produção que retornam com as quantidades efetivamente produzidas.

Como a linha de produção está normalmente “cheia”, não é necessário aguardar que as carcaças confeccionadas cheguem até a área de vulcanização para início da produção de pneus. Os estoques intermediários permitem a sua partida imediata, mesmo na retomada da produção no primeiro dia útil da semana, demandando apenas o período de pré-aquecimento dos moldes.

Após a descrição do processo produtivo real, realizada na primeira parte deste capítulo, a próxima seção vai descrever como foi idealizado e montado o modelo virtual do sistema produtivo.

7.2. O Modelo Virtual no *Software* FCS

Assim como foi apresentado no capítulo sexto, O Sistema de Planejamento Fino, o produto FACTOR é baseado na lógica de simulação computacional com regras de sequenciamento e de alocação de recursos. A entidade básica, que flui pelo sistema, é chamada de *load* e representa uma quantidade de peças a serem manufaturadas. As *loads* ou são inseridas no sistema através de ordens de produção ou como *loads* em processo e percorrem os roteiros de fabricação. Ao longo dos roteiros são tomadas decisões, os recursos são alocados e as atividades realizadas. Os roteiros de fabricação são montados com auxílio de componentes os quais representam as diversas etapas de processamento denominados de *jobsteps*. O modelo global é construído, essencialmente, pela representação dos diversos roteiros existentes no sistema real.

A definição do roteiro de fabricação é realizada pela seleção e formatação dos *jobsteps* que melhor representam cada atividade que acontece no chão-de-fábrica. Os *jobsteps* são codificados de um até vinte, e cada um deles visa representar uma atividade diferente, como por exemplo: operações, montagens, produção, preparações, adição ou remoção de materiais, inspeções, etc. A tela inicial de definição de todos os *jobsteps* é a mesma (ver Figura 22, capítulo 6) mas, de acordo com a função de cada um, existe uma segunda tela que complementa a formatação e as informações correspondentes. Inevitavelmente, as explicações sobre a montagem do modelo apresentam conclusões importantes sobre a operação do *software*, pois sem elas não seria possível entender aspectos relevantes do funcionamento da ferramenta e da lógica de modelagem. Torna-se, portanto, necessário adiantar algumas conclusões.

Um aspecto importante observado durante os trabalhos de montagem dos roteiros é que uma *load* começa a fluir pelo sistema a partir do primeiro *jobstep*, percorrendo o roteiro na seqüência estabelecida até a última etapa. Essa condição, **que parece óbvia**, deve ser cuidadosamente considerada na definição geral de como o modelo será montado. Suas implicações só puderam ser claramente identificadas durante a experiência prática de modelagem no processo de validação. Esta condição deve ser esperada para sistemas de capacidade finita que empregam a lógica de simulação discreta por eventos.

Inicialmente, a forma como as *loads* percorrem o modelo computacional exige uma atenção especial no que diz respeito à inserção de *in process loads*, as quais representam as peças que já estão em processamento no meio dos diversos roteiros. A condição normal de simulação equivale à condição de fábrica “cheia”, e por isso está repleta de peças em processamento e de estoques intermediários. Por outro lado, interessa ao especialista em programação de produção antecipar o comportamento do sistema produtivo quanto à execução de um conjunto de ordens, sendo estas são formalmente declaradas no sistema computacional (manualmente ou de forma automatizada via processamento de dados). As novas ordens são constituídas de *loads*, que deverão percorrer seus respectivos roteiros de fabricação desde a primeira até a última etapa.

A condição de passagem das *loads* ou entidades pelo sistema sugere que a lógica geral de modelagem do sistema FACTOR corresponde à produção “empurrada”, pois uma atividade posterior não pode ser realizada pela mesma *load* sem que esta tenha concluído a etapa anterior. Essa conclusão não é estranha, considerando que o manual do produto faz menção à operação integrada com sistemas de gestão do tipo MRPII, os quais foram originalmente desenvolvidos dentro do paradigma de produção tradicional *Just-in-Case* em que uma das suas características é a produção “empurrada”.

A *load* é a entidade que flui pelo sistema e equivale ao sinal para realização dos eventos. Essa premissa implica que, ao emitirmos uma ordem para a fabricação de um produto, as etapas finais do roteiro só acontecem quando está consumado o *lead time* ou o atravessamento até essas etapas. Por outro lado, em se tratando de uma produção *Just-in-Case*, é comum a existência de estoques intermediários, especialmente em condições de manufatura repetitiva predominantemente para estoques, como ocorre no caso real analisado. Esses estoques permitem a partida imediata dos processos posteriores no início da simulação, sem a dependência de materiais intermediários gerados pelas etapas anteriores. O uso de *in process loads* pode gerar desvios como, por exemplo, no monitoramento de uma ordem, onde a soma das peças produzidas através das *in process loads* mais uma parcela da ordem executada poderiam somar a produção desejada no dia sem, no entanto, ocorrer a conclusão da ordem.

Outra condição determinante para a montagem do modelo foi a lógica de programação. Entre os processos de confecção e vulcanização existe um *buffer* médio de segurança igual a 5 horas de produção da vulcanização. A vulcanização está programada para atender ao volume de produção previsto no dia e este processo, de certa forma, “puxa” a produção dos processos anteriores. O cálculo da ordem de produção do dia envolve o balanço entre a necessidade da

vulcanização e a manutenção do estoque intermediário de segurança. Se o estoque está baixo, provavelmente a confecção apresentou problemas no dia anterior e há risco de desabastecimento do processo posterior. O programa do dia da confecção será maior do que a necessidade de carcaças da vulcanização, de modo a repor o estoque intermediário. A situação inversa também é comum, onde a ordem de confecção de uma determinada carcaça pode ser menor do que a necessidade da vulcanização, reduzindo o estoque intermediário. A condição de produção intermitente da confecção, quando um conjunto de confeccionadoras atende a diversos vulcanizadores, os quais estão produzindo pneus diferentes, também gera oscilações nos *buffers* de segurança ao longo do dia.

O primeiro modelo foi montado com apenas um roteiro, envolvendo todas as operações desde a confecção até a vulcanização. A ordem de produção era única e inviabilizava as compensações para equilibrar os *buffers* intermediários. O modelo era “engessado”, pois os estoques intermediários não variavam, trabalhando numa condição muito diferente do sistema real. Em segundo lugar, a vulcanização só partia mais de uma hora depois do início da simulação, equivalendo ao tempo necessário para o atravessamento das *loads*. O tamanho diferente das ordens de confecção e vulcanização somado à condição de partida de ambos os processos no início da simulação (dependendo apenas da existência de estoques intermediários de carcaças) determinaram a montagem de dois roteiros independentes, um para a confecção e outro para a vulcanização.

A situação descrita acima sugere uma questão importante: se durante a modelagem de um sistema produtivo acontece a criação de diversos roteiros independentes, como se faz a integração entre eles? Analisando-se a lógica geral do *software* FACTOR e a sua condição de operação integrada com sistemas de gestão do tipo MRPII, a resposta parece ser que o elemento integrador entre os roteiros são os estoques intermediários ou a disponibilidade de materiais entre os processos.

Ao liberar todo um conjunto de ordens correspondentes a produção de um produto final, cada uma delas será processada em seus respectivos *Process Plan*. Toda ordem deverá conter, entre outras informações, o item e a quantidade que será fabricada, o roteiro a ser seguido, a data de liberação da ordem para a produção e a data desejada de conclusão. Por exemplo: se a data de início de processamento, definida na ordem de um produto final não estiver sincronizada com a produção dos itens necessários à sua montagem, não existirão peças para serem removidas do estoque intermediário. Neste caso, a produção fica suspensa até que os componentes sejam fabricados e colocados no estoque, só assim será possível a remoção desses

materiais para emprego no produto final. O problema de sincronização ficará visível sob a forma de um retardo na conclusão da ordem por falta de materiais.

Esse modo de comportamento é totalmente aderente à operação conjunta com sistemas MRPII, onde diversas ordens são geradas ao longo das estruturas de produto as quais retiram e colocam materiais nos estoques, enquanto consomem recursos de manufatura. O sistema FACTOR não realiza planejamento de materiais e depende das ordens de produção geradas pelos sistemas MRPII, a partir das quais procede uma simulação detalhada no que diz respeito à capacidade necessária e à disponibilidade de materiais. A simulação ocorre de acordo com as datas previstas de liberação (para início de produção) e conclusão dessas ordens. Os materiais intermediários representam o elo entre os diversos processos definidos em diferentes roteiros. Nos sistemas MRPII, as ordens são geradas entre um item “pai” e seus “filhos” conforme definido na estrutura de produto, ou seja, sempre que ocorre um “salto” num ramo de estrutura, existe um processo de transformação. A execução desse roteiro implica na retirada de materiais do sistema (itens “filho”) e na adição do item pai no controle de estoques.

A forma de operação não é diferente quando as ordens são geradas manualmente e a montagem dos roteiros segue a mesma lógica. Na montagem do modelo em questão, foram construídos dois roteiros: um compreendendo a confecção até a conformação e um segundo que representa a vulcanização propriamente dita. O modelo deverá trabalhar com duas ordens distintas: uma de confecção e outra de vulcanização. O cálculo das ordens deverá ser realizado manualmente ou com auxílio de planilhas eletrônicas, já que o sistema não é capaz de realizar o cálculo de materiais. As ordens deverão corresponder à produção desejada em um dia de trabalho, de acordo com as capacidades inicialmente estimadas para cada uma das duas áreas correspondentes. A alocação dos equipamentos a cada momento, o comportamento dos estoques e o atendimento das ordens são as três variáveis mais importantes que o programador de produção deseja obter.

7.2.1. Os Roteiros de Produção

A seguir, os roteiros serão apresentados sob uma forma genérica padrão conforme os *jobsteps* utilizados, o que proporcionará a compreensão da estrutura básica de todos os roteiros já que são semelhantes. Foram criados, ao total, 16 roteiros diferentes para atender ao *mix* de produção dos pneus A, B, C, D, E, F, G e H. Oito roteiros desde a confecção até o processo de conformação das carcaças e oito referentes à vulcanização dos pneus.

A Tabela 18, descreve o roteiro de produção da carcaça conformada e os *jobsteps* correspondentes. A montagem deste roteiro exigiu o emprego de cinco tipos diferentes de *jobsteps*: tipo 04 (*setup*) para a preparação da confeccionadora, tipo 01 (operação) para atividades de processamento, tipos 08 e 09 (adicionar e remover materiais) para refletir as movimentações nos estoques e, finalmente, tipo 11 (acumular/dividir) com o objetivo de ajustar os lotes de transferência entre as atividades.

Jobstep nº	Tipo de Jobstep	Atividade Realizada	Recursos Envolvidos
010	04 - <i>Setup</i>	Prepara a confeccionadora	Confeccionadora Operador da Confeccionadora
020	01 - Operação	Confecciona	Confeccionadora Operador da Confeccionadora
030	08 - Adiciona Material	Adiciona a carcaça crua no estoque	Não consome recursos
040	11 - Acumula / Divide	Forma o lote de transferência	Não consome recursos
050	01 - Operação	Transporta a carcaça	Trator Rebocador Operador de Trator
060	11 - Acumula / Divide	Divide o lote de transferência	Não consome recursos
070	09 - Remove Material	Remove a carcaça crua do estoque Emboiaca a carcaça e estoca	Trator Rebocador Operadores de Emboicadeira (02)
080	08 - Adiciona Material	Adiciona a carcaça emboiacada no estoque	Não consome recursos
090	01 - Operação	Secagem da boiaca	Não consome recursos
100	11 - Acumula / Divide	Forma o lote de transferência Transfere para a conformação	Não consome recursos
110	11 - Acumula / Divide	Divide o lote de transferência	Não consome recursos
120	09 - Remove Material	Remove a carcaça emboiacada Conforma a carcaça e estoca	Conformadora Operador de Conformadora
130	08 - Adiciona Material	Adiciona a carcaça conformada no estoque	Não consome recursos

Tabela 18. Roteiro de Produção da Carcaça Conformada

A Tabela 19 descreve o roteiro de vulcanização das carcaças conformadas e os *jobsteps* correspondentes. Embora este roteiro pareça simples, a modelagem inicial apresentou problemas

técnicos que exigiram soluções de contorno, pois o comportamento do sistema virtual se mostrava diferente do real. O primeiro roteiro causava quedas bruscas no nível de carcaças conformadas, embora os vulcanizadores só as consumissem de forma gradual a cada ciclo de vulcanização. O monitoramento das carcaças conformadas, uma das variáveis desejadas pela programação, ficou comprometido.

Jobstep nº	Tipo de Jobstep	Atividade Realizada	Recursos Envolvidos
010	09 - Remove Material	Remove carcaça conformada auxiliar do estoque	Não consome recursos
020	11 - Acumula / Divide	Acumula em lotes de duas carcaças para vulcanização	Não consome recursos
030	04 - Setup	Prepara o vulcanizador	Vulcanizador Molde de vulcanização
040	09 - Remove Material	Alimenta o Vulcanizador Remove a carcaça conformada do estoque	Operador de vulcanizador
050	01 - Operação	Vulcaniza	Vulcanizador Molde de vulcanização
060	08- Adiciona Material	Adiciona o pneu no estoque	Não consome recursos

Tabela 19. Roteiro de Produção da Vulcanização

No roteiro antigo, a queda brusca acontecia porque todas as *loads*, de uma ordem, passavam instantaneamente pelo *jobstep* 010, causando a redução imediata de todas as peças existentes no estoque de carcaças conformadas. Nesse caso, o *jobstep* estava formatado de modo que cada *load* produzia a baixa de uma carcaça conformada do estoque. A simples transferência da baixa de estoque para a etapa de alimentação do vulcanizador causava a alocação desse, mesmo quando não existiam peças para serem removidas do estoque e o processamento não podia ser efetivado. A alocação acontecia na operação de *setup* do equipamento, mas a remoção de materiais só poderia ocorrer na etapa seguinte de alimentação. O vulcanizador ficava alocado e parado aguardando peças, sem poder ser utilizado para outra ordem.

Para solucionar esse problema, diversas possibilidades foram consideradas com os recursos e componentes disponíveis no sistema. A situação poderia ser facilmente contornada

com o emprego de variáveis auxiliares e perguntas lógicas, entretanto, a versão disponível do sistema FACTOR não disponibiliza essa funcionalidade. Outros simuladores generalistas, como é o caso dos produtos Arena da *Modeling Systems Corp.* e Micro Saint da *Micro Analysis & Design Simulation Software Inc.* disponibilizam janelas para criação e controle de variáveis, assim como a possibilidade de emprego de decisões lógicas do tipo *If-then*, o que facilita muito o processo de modelagem e controle.

A solução encontrada foi a criação de um estoque fictício chamado de “carcaças auxiliares” igual ao número de carcaças conformadas. O estoque de carcaças auxiliares passou a ser incrementado na mesma proporção em que o roteiro de confecção concluía uma carcaça conformada. Em outras palavras, a solução foi equivalente à criação de uma variável auxiliar visando o controle do modelo. O roteiro de vulcanização também foi alterado e, no *jobstep* 010, as *loads* efetivamente passaram a produzir apenas a queda brusca do estoque de carcaças auxiliares. Se o estoque auxiliar fosse nulo, as *loads* seriam bloqueadas e não haveria a alocação do vulcanizador (no *jobstep setup*) por falta de carcaças auxiliares. O processo produtivo do pneu em questão estaria parado, mas os equipamentos disponíveis para alocação em outras ordens. Isso não acontecia antes porque as *loads* chegavam até a etapa de *setup* e alocavam o vulcanizador. A baixa de estoque era feita no abastecimento do vulcanizador, o que significa que o equipamento sofria preparação mas não podia iniciar a produção por falta de material e ficava parado. A liberação do vulcanizador não era possível porque só acontecia como um evento ao final da atividade correspondente a um ciclo de vulcanização. A variável carcaças auxiliares só permitia a passagem de *loads* na proporção do estoque existente, viabilizando a alocação do vulcanizador e o processamento de todas as *loads* que passaram dessa “barreira”. A baixa do estoque real de carcaças conformadas passou a ser realizada no *jobstep* 040, que representa o abastecimento do vulcanizador. Enquanto executava o ciclo de vulcanização, o equipamento estava alocado e não permitia nova alocação para outra *load*. Assim, o processo de alimentação do vulcanizador e conseqüente baixa do estoque de carcaças conformadas passou a acontecer no ritmo da vulcanização.

7.2.2. Outros Dados do Modelo

A montagem do modelo teve início pelo cadastramento dos materiais e dos recursos de produção, de acordo com as condições existentes no chão-de-fábrica. Foram cadastrados os seguintes materiais/peças:

- a) carcaças cruas;
- b) carcaças emboiacadas;
- c) carcaças conformadas;
- d) carcaças auxiliares;
- e) pneus A, B, C, D, E, F, G e H.

O cadastramento de materiais e peças envolveu informações do tipo usualmente requeridas por sistemas de gestão da classe MRPII, tais como código, descrição, local de estocagem, capacidade de estocagem, valor unitário, etc. O cadastramento de peças ainda permitiu a criação de famílias e subdivisões de famílias de peças empregadas, por exemplo, no *setup*.

Os turnos de operação e o calendário foram facilmente cadastrados. No modelo em estudo, foram montados três turnos de operação com revezamento nas refeições (sem interrupções) ou três turnos com intervalo para as refeições. Os turnos foram registrados dia após dia da semana apontando os intervalos, conforme segue:

- a) primeiro turno das 22h00 de domingo às 02h00 de segunda-feira;
- b) primeiro turno das 02h30min até às 06h00 de segunda-feira e final do 1º turno;
- c) segundo turno das 06h00 às 10h00 de segunda-feira;
- d) segundo turno das 10h30min até às 14h00 de segunda-feira e final do 2º turno;
- e) terceiro turno das 14h00 às 18h00 de segunda-feira;
- f) terceiro turno das 18h30min até às 22h00 de segunda-feira e final do dia de trabalho.

Os equipamentos poderiam ou não parar durante os intervalos de refeição, de acordo com o regime de turnos selecionado no seu cadastramento. Para turnos ininterruptos, foram cadastrados turnos entre 22h00 e 06h00, 06h00 e 14h00 e 14h00 até 22h00. Quanto ao calendário, todos os dias foram considerados úteis, exceto aqueles expressamente informados como não trabalhados.

O cadastramento dos recursos envolveu dados básicos como: código, descrição, quantidade de recursos iguais e disponíveis, turnos de operação, regra de sequenciamento própria (se fosse necessário utilizar uma diferente da regra geral estabelecida para o modelo), *status* quanto à preparação e outras informações. Cada um dos recursos mencionados nos roteiros foi previamente cadastrado mas as confeccionadoras e vulcanizadores ainda foram reunidos em grupos de recursos. Os roteiros de fabricação tanto admitiam a definição de um

recurso como de um grupo de recursos para atender ao processamento. Quando um grupo de recursos foi registrado no roteiro, qualquer uma das máquinas pertencentes ao grupo pôde atender ao processamento de uma *load*, desde que estivesse livre e preenchesse os demais requisitos de alocação. O sistema definia internamente qual recurso do grupo seria alocado a uma determinada *load*.

As treze confeccionadoras, ora em operação na linha gigante, foram agrupadas de acordo com as linhas as quais eram dedicadas. As máquinas 01 a 06 foram reunidas num grupo que atende aos pneus de medida 10.00 X 20, e qualquer carcaça dessa medida poderia ser confeccionada em qualquer máquina do grupo, desde que fosse realizada a respectiva operação de preparação. O mesmo aconteceu para as máquinas 07 a 13, dedicadas à produção dos pneus da medida 9.00 X 20 e reunidas noutra grupo.

Os vulcanizadores também foram reunidos como grupos de recursos, de acordo com a Tabela 17, Compartilhamento dos Vulcanizadores pelos Pneus, na Seção 7.1.2 deste capítulo. Os trabalhadores também foram cadastrados individualmente e depois reunidos em grupos, por turno de trabalho. Outros recursos foram cadastrados individualmente, como os moldes, as conformadoras e os tratores/rebocadores.

A descrição do processo produtivo, alvo dos ensaios com o sistema de Planejamento de Capacidade Finita, permite a compreensão do problema de programação da produção entre as duas áreas. Por sua vez, as informações sobre o modelo virtual transmitem uma noção de como o chão-de-fábrica pôde ser modelado no sistema computacional. O capítulo 8, a seguir, trata efetivamente dos ensaios realizados e dos resultados obtidos.

CAPÍTULO 8

ENSAIOS E RESULTADOS

8.1. Método de Condução dos Ensaios

Os estudos a serem desenvolvidos com o sistema FACTOR representam uma aplicação experimental do produto em escala reduzida. Assim sendo, o método de implementação proposto pelo fornecedor (apresentado no capítulo 6) é por demais abrangente e não se encaixa adequadamente nos propósitos deste trabalho. Considerando a lógica geral do *software* FACTOR, que é de simulação computacional baseado em regras de sequenciamento, o estudo seguirá os passos propostos por Law & Kelton (1991) e comentados a seguir.

Law & Kelton (1991) desenvolveram um método para execução de estudos de simulação de acordo com uma estrutura lógica composta de dez etapas, as quais estão representadas sob a forma de diagrama na Figura 27. Os dez passos propostos por Law & Kelton (1991), serão brevemente comentados a seguir:

a) **formulação do problema e planejamento do estudo** - é o primeiro passo para tratar o fenômeno a ser simulado. É necessário entender o problema claramente, definir os limites do que deve ser simulado e o detalhamento necessário;

b) **coleta de dados e definição do modelo** - os dados devem ser coletados a partir do sistema real a ser simulado. É necessário determinar as respectivas distribuições de probabilidades, através de testes estatísticos, o que é válido para modelos estocásticos. Nessa etapa, os analistas devem esboçar um modelo conceitual lógico de funcionamento do sistema;

c) **validação** - tem o objetivo de verificar a consistência do modelo conceitual em relação ao sistema real, validando os seus pressupostos, dados e simplificações. Deve ser realizada por *experts* no sistema real;

d) **construindo o modelo piloto** - é a etapa de transformação do modelo conceitual no modelo computacional. No caso, a ferramenta de simulação a ser empregada será o sistema FACTOR e seus componentes de modelagem básicos, avançados e estendidos, de acordo com as necessidades do modelo virtual;

e) **rodar o modelo piloto** - nessa etapa o modelo base deverá rodar em caráter experimental, visando tanto o seu refino quanto sua validação;

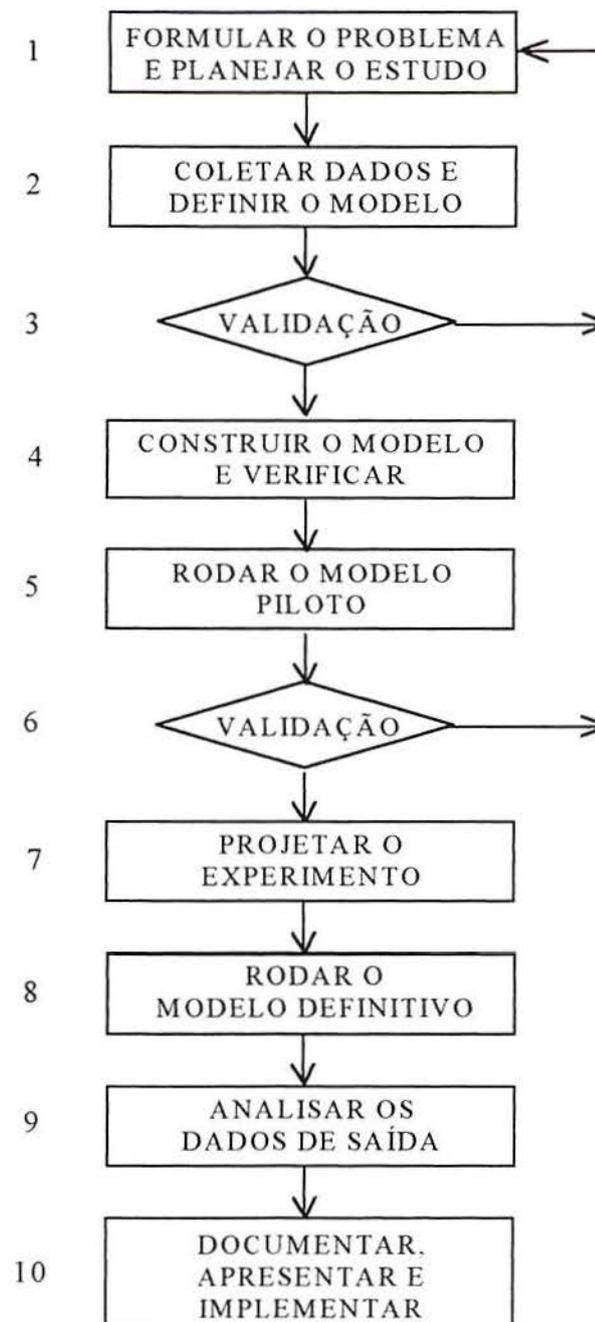


Figura 27. Desenvolvimento de um Projeto de Simulação

Fonte: Law & Kelton (1991)

f) **validação** - visa examinar, definitivamente, a capacidade do modelo virtual em representar o comportamento do sistema real. Inclui todas as correções que se fizerem necessárias até que isso ocorra de forma satisfatória;

g) **projeto do experimento** - consiste na definição dos parâmetros abaixo, especialmente

se o sistema for de natureza estocástica:

- extensão de cada simulação;
- número de simulações independentes;
- condições iniciais;
- extensão do “*warm up*” (tempo até o sistema entrar em regime estável de operação).

Embora a versão disponível do sistema FACTOR seja determinística, os itens extensão e condições iniciais da simulação são perfeitamente adequados à situação. Ainda que com um objetivo diferente do original, o número de simulações independentes pode ser associado às mudanças efetuadas nos diversos cenários aplicados ao modelo. O *warm up* poderá existir, dependendo das condições iniciais do modelo, até que ele se aproxime da situação de produção em regime normal. O sistema FACTOR permite a inclusão de ordens e *loads* em processamento porque a condição mais provável no início da simulação é de que a fábrica não esteja vazia;

h) **rodar o modelo definitivo** - representa a execução da simulação propriamente dita, rodando o modelo de acordo com os parâmetros determinados no item anterior;

i) **análise dos dados de saída** - consiste na análise e conclusões obtidas a partir dos dados gerados pelo modelo, o que pode ser facilitado pelos recursos oferecidos pelo sistema. No caso, serão utilizados exclusivamente relatórios e gráficos standard gerados pelo sistema FACTOR.

j) **documentação, apresentação e implementação** - A documentação de todo o projeto garante a disponibilidade de informações para consultas, o que é imprescindível à fase de implementação e facilita futuras utilizações do modelo. A adequada apresentação dos resultados e a implementação criteriosa dos resultados e *insights*, proporcionados pelo modelo completam o estudo de simulação.

8.2. Desenvolvimento do Método de Ensaio

Esta seção apresenta informações sobre o desenvolvimento dos ensaios, de acordo com o método de trabalho apresentado acima.

O estudo está focalizado entre as operações de confecção e vulcanização da linha de produtos Gigante. A escolha foi determinada pelas razões apresentadas no final da seção 7.1.2. Os Produtos e o Sistema Produtivo. O modelo virtual deverá trabalhar com duas ordens de

produção distintas, uma para confecção e outra para vulcanização, calculadas pelo analista e introduzidas manualmente no sistema FACTOR. O horizonte de programação corresponderá a um dia de produção, equivalente a 24 horas de operação, em três turnos. A vulcanização será programada de acordo com as necessidades do Plano Mestre de Produção, o que significa atender às necessidades do Departamento Comercial e, conseqüentemente, dos clientes. A confecção deverá produzir as carcaças de modo que a vulcanização possa atender ao Plano Mestre e, ainda, regular o estoque intermediário entre as duas áreas. Para analisar os resultados obtidos e manejar a situação, o programador desejará acompanhar três variáveis principais, ao longo da simulação: a alocação dos equipamentos, o comportamento dos estoques intermediários e o atendimento às ordens de produção

A coleta de dados foi facilitada pelo sistema de controle de chão-de-fábrica da empresa, denominado *Shop Floor*. Entre outras funções, o sistema coleta dados diretamente das confeccionadoras e vulcanizadores, monitorando os tempos de processamento, de preparação, a produção em curso e as paradas dos equipamentos. A versão do sistema FACTOR, disponibilizada para estudos, é determinística e, portanto, não foram feitas análises quanto à distribuição dos dados de entrada. No caso, foram empregados os tempos médios de processamento e de preparação, de acordo com os valores calculados diretamente pelo sistema *Shop Floor*. Para efeito de informação, sabe-se que as confeccionadoras geralmente se comportam de acordo com distribuições do tipo *Lognormal* ou *Weibull*.

O modelo computacional foi construído e validado diretamente pelo autor desse trabalho por conhecer suficientemente as áreas de produção envolvidas e sua programação. Num determinado estágio, o modelo foi apresentado aos especialistas de programação, eficiência e processo, melhoramento contínuo e gerência da unidade produtiva, os quais apresentaram diversas contribuições e comentários. Os detalhes sobre a construção do modelo virtual são descritos na seção 7.2. O Modelo Virtual no *Software* FCS. Diversos testes de validação foram realizados durante a construção do modelo, os quais permitiram o seu aperfeiçoamento e um melhor entendimento da lógica de funcionamento da ferramenta.

No que diz respeito ao projeto das simulações, a natureza determinística do sistema faz com que os parâmetros usuais sejam tratados de forma diferenciada.

A extensão de cada simulação foi determinada pela condição operacional de programação das duas áreas envolvidas. As variabilidades do sistema produtivo como um todo exigem reprogramações diárias e, portanto, a extensão das simulações devem cobrir períodos de

24 horas. Simulações com base em períodos semanais podem servir como base de planejamento, mas não terão valor para a programação no chão-de-fábrica.

Considerando o fato de que o sistema é determinístico, não haverá variação dos resultados entre simulações de um mesmo cenário. Entretanto, o número de simulações independentes pode ser associado aos diversos cenários criados pelo programador e sobre estes será tomada a decisão quanto ao programa que será executado. Alterações nas ordens de produção, regras de sequenciamento e de alocação de recursos, disponibilidade de recursos, etc podem afetar significativamente os resultados das simulações.

O modelo, entre outras razões, foi montado com dois roteiros independentes, de forma a facilitar o *Warm Up* do sistema. No chão-de-fábrica, a produção começa logo em seguida ao início do primeiro turno, desde que existam estoques intermediários suficientes. No modelo computacional, a vulcanização entra em regime normal rapidamente, logo após o início da simulação. Isso acontece porque o roteiro está restrito ao abastecimento do vulcanizador (que consome poucos minutos) e do próprio processo de vulcanização, embora o ciclo de “queima” seja relativamente longo. Além disso, o emprego de *in process loads* permite iniciar a simulação com os vulcanizadores carregados, completando ciclos de vulcanização iniciados no dia anterior. Já o roteiro de confecção envolve várias atividades: confecção, transportes, emboiacamento e secagem, o que retarda a estabilização do sistema em regime normal de operação. Novamente, o emprego de *in process loads* permite contornar a situação de forma bastante satisfatória. Como o período de simulação compreende 24 horas, o tempo necessário à estabilização do sistema não compromete os resultados da simulação, especialmente quanto à alocação dos equipamentos, comportamento dos estoques intermediários e atendimento das ordens de produção.

As condições que correspondem ao *status* inicial do sistema produtivo devem ser obrigatoriamente transferidas ao modelo virtual antes do início da simulação. Os principais aspectos são os seguintes: disponibilidade dos recursos de produção, produtos em processamento, estoques intermediários e estado de preparação das confeccionadoras e vulcanizadores.

A análise dos resultados e dados de saída, obtidos com as simulações, serão comentados a seguir, na seção 8.3. Simulação do Programa de Produção. A documentação de todo o trabalho está presente ao longo dessa dissertação.

8.3. Simulação do Programa de Produção

Em síntese, o maior objetivo dos ensaios é verificar a capacidade da ferramenta auxiliar na solução do problema de programação entre as duas áreas. Entretanto, essa condição é extremamente dependente do problema de modelagem do sistema produtivo. A complexidade e diversidade das situações encontradas nos sistemas produtivos torna a tarefa de desenvolvimento de um *software* voltado à programação da produção uma tarefa difícil.

A construção do modelo piloto reunia apenas um grupo de confeccionadoras trabalhando para um grupo de vulcanizadores. Esse modelo foi trabalhado até que o seu desempenho se mostrou satisfatoriamente representativo em relação ao comportamento dos elementos existentes na fábrica. Após o modelo piloto sinalizar com resultados satisfatórios, roteiros semelhantes foram introduzidos no sistema, cobrindo todos os tipos de carcaças conformadas e pneus a serem produzidos.

Em seguida, um programa diário de produção padrão para a semana 05, pertencente ao mês de fevereiro de 2000, foi colocado no sistema sob a forma de ordens de confecção e vulcanização. As quantidades das ordens de produção para a vulcanização foram exatamente as mesmas programadas na fábrica. Quanto às ordens de produção de carcaças conformadas, as quantidades acompanharam exatamente as mesmas quantidades dos pneus correspondentes. Ao igualar as quantidades de carcaças produzidas com as quantidades dos pneus vulcanizados, esperava-se não haver variações significativas nos estoques intermediários. Os estoques intermediários de carcaças conformadas, entre a confecção e vulcanização, foram calculados através da fração $5/24$, equivalente a 5 horas do consumo médio diário de cada pneu. A simulação iniciou com todos os estoques de carcaças conformadas igual a cinco horas de consumo na vulcanização.

Um dos princípios de construção do modelo foi o de que o analista deveria deixar totalmente a critério do sistema a alocação das confeccionadoras e dos vulcanizadores. Qualquer tipo de pré-alocação de recursos interfere na capacidade disponível durante o período de simulação. O emprego do sistema passa a não fazer sentido se o analista resolver externamente esse tipo de problema. O atendimento ao programa de produção depende da forma como será realizada a alocação dos recursos, especialmente das confeccionadoras, pois o programa de vulcanização é mais estável com menos trocas. Ainda, o programa de produção, equivalente a 24 horas de operação de ambas as áreas, era viável pois o balanceamento de capacidade foi previamente verificado pelo programador de produção e liberado para execução.

O programa de produção simulado envolveu os oito tipos diferentes de carcaças e pneus relacionados na descrição do sistema fabril, totalizando uma produção de 1.283 unidades. Durante os testes, o tempo total de simulação para um programa completo oscilou em torno de 2h30min. O sistema foi instalado num microcomputador tipo PC, com um processador Pentium 100 Mhz, 32 Mbites de memória RAM e 1,2 Gbites de disco rígido. Durante o processamento observou-se o acesso maciço ao disco rígido.

A primeira análise, a partir dos resultados da simulação, foi realizada com base no relatório standard *Order Summary* que, entre outras informações, registra as datas de início das ordens, de conclusão e as datas devidas das ordens. Ainda existe um campo que aponta se ocorreu a conclusão da ordem, dentro do período de simulação (SIM ou NÃO). A partir da identificação de algumas ordens não concluídas no prazo, outros dois relatórios gráficos foram acessados: *Resources Plots* e *Material Plots*. A Tabela 20 apresenta o comportamento das ordens de vulcanização, com dados extraídos do relatório *Order Summary* de uma das alternativas simuladas. Observando-se as datas de conclusão das oito ordens liberadas, verifica-se que apenas duas foram concluídas antes do prazo (PNEUS A e B). Quanto às demais ordens, os atrasos variaram entre duas até quatorze horas, aproximadamente.

Ordem	Quant.	Data/Hora Liberação	Data/Hora Devida (1)	Data/Hora Conclusão (2)	Diferença (2) - (1)
PNEU - A	38	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 09h41min	- 12,321
PNEU - B	95	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 16h19min	- 05,677
PNEU - C	250	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	22/02/00 - 00h39min	+ 02,655
PNEU - D	100	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	22/02/00 - 08h53min	+ 10,884
PNEU - E	240	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	22/02/00 - 15h39min	+ 17,649
PNEU - F	92	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	22/02/00 - 01h12min	+ 03,207
PNEU - G	272	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	22/02/00 - 00h42min	+ 02,702
PNEU - H	196	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	22/02/00 - 12h20min	+ 14,334

Tabela 20. Situação das Ordens de Vulcanização

A primeira consulta foi realizada no gráfico que apresenta a utilização dos recursos (*Resources Plots*), exatamente no grupo de recursos que deveria ter atendido à ordem do PNEU H, concluída com o maior atraso de todos (+ 14,334 h). O gráfico demonstrava claramente que houve um período de inatividade do grupo de vulcanizadores correspondente, aproximadamente

entre 07h30min e 13h00min de 21/02. Convém mencionar que a capacidade de vulcanização é o gargalo do sistema, embora a capacidade de confecção não seja muito superior. Uma parada inadvertida na vulcanização implica, necessariamente, no não atendimento do programa do dia.

Sem previsão de intervalos para manutenção, praticamente a única restrição existente capaz de provocar paradas na vulcanização seria a falta de materiais. A análise do comportamento dos níveis de estoques de carcaças conformadas, as quais abasteciam os vulcanizadores em questão, demonstrou uma ruptura de estoque no mesmo período de inatividade dos vulcanizadores. Essa situação podia ser facilmente evidenciada no gráfico *Material Plots*. A análise retrocedeu até a área de confecção, pois a produção não atendeu à demanda do processo posterior. A tabela 21 apresenta os níveis máximo, mínimo e final do estoque de carcaças H, confirmando a ocorrência de ruptura de estoque durante a simulação. O valor final de 44 carcaças é exatamente igual ao inicial.

ITEM INTERMEDIÁRIO	EST. MÍNIMO	EST. MÁXIMO	VALOR FINAL
CARCAÇA - H	ZERO	158	44

Tabela 21. Estoques da Carcaça H

A verificação da forma como o sistema procedeu a alocação do grupo de confeccionadoras, as quais deveriam atender aos vulcanizadores parados, revelou a origem do problema. O grupo de confeccionadoras que atende aos PNEUS F, G e H é composto de seis máquinas. Na prática, o melhor carregamento corresponde a uma distribuição o mais equilibrada possível dessas máquinas em função do consumo, com o mínimo de trocas. Por exemplo, uma confeccionadora produzindo a CARCAÇA F, outras três a CARCAÇA G e mais duas a CARCAÇA H. Há uma certa folga de capacidade na distribuição proposta acima, mas ela ilustra bem a situação. Se o sistema não distribuir bem as máquinas em função do consumo, concentrando-as para atender uma ou outra ordem, haverá um desbalanceamento nos estoques o qual poderá provocar paradas na vulcanização

Outra condição comum são as trocas de medidas em função da capacidade de confecção e vulcanização. Isso significa que uma ou mais confeccionadoras podem produzir, por exemplo, um lote de carcaças para o pneu G (inferior à demanda diária total da vulcanização), executar uma preparação e produzir outro lote de carcaças para o pneu H (também inferior a demanda

diária de H). Em seguida, voltar a produzir a carcaça correspondente ao produto G, e assim por diante. A inexistência dessa alternância também pode gerar um desbalanceamento de estoques, aumentando demasiadamente o estoque de uma carcaça, enquanto pode ocorrer a falta de outra.

A Tabela 22 apresenta o comportamento das ordens de confecção durante o período de simulação. Todas as ordens foram concluídas antes do final do dia, o que confirma a capacidade da confecção em atender ao programa previsto. Os estoques de materiais para a confecção foram considerados infinitos no modelo, mas se fossem reais também encontraríamos problemas de alocação e desbalanceamento de estoques intermediários.

Ordem	Quant.	Data/Hora Liberação	Data/Hora Devida (1)	Data/Hora Conclusão (2)	Diferença (2) - (1)
CARCAÇA-A	38	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 00h13min	- 21,778
CARCAÇA-B	95	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 03h13min	- 18,776
CARCAÇA-C	250	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 09h37min	- 12,380
CARCAÇA-D	100	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 13h03min	- 08,952
CARCAÇA-E	240	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 19h45min	- 02,242
CARCAÇA-F	92	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 02h11min	- 19,815
CARCAÇA-G	272	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 11h00min	-10,997
CARCAÇA-H	196	20/02/00 - 22h	21/02/00 - 22h	21/02/00 - 17h32min	- 04,470

Tabela 22. Situação das Ordens de Confecção

A vulcanização do PNEU H sofreu paradas porque o sistema realizou uma alocação, provavelmente mais adequada à confecção, sem “enxergar” a dependência do processo posterior. A forma como as confeccionadoras do grupo 10.00 X 20 foram alocadas reduziu, por exemplo, os estoques intermediários de CARCAÇAS H a zero. Foram confirmadas paradas na vulcanização durante o período em que o estoque esteve nulo. Quando a confecção iniciou a produção de CARCAÇAS H, ainda foi necessário aguardar o *lead time* até que as carcaças pudessem ser disponibilizadas em frente aos vulcanizadores.

O compartilhamento dos vulcanizadores e seus critérios próprios de alocação também devem ter contribuído para o desbalanceamento dos estoques, trocas desnecessárias e desequilíbrio nos *buffers* de carcaças. Conforme a Tabela 22, as CARCAÇAS F foram concluídas com 19,8 h de antecipação, as quais, somadas ao estoque inicial de cinco horas, ultrapassam 24 horas de estoque. Portanto, o atraso de 3,2 h na conclusão do lote de PNEUS F

ocorreu exclusivamente por problemas de compartilhamento, alocação e atrasos na vulcanização.

A alteração nas regras de alocação dos recursos não resolveu o problema. Na verdade, o modelo chegou a uma condição para a qual o sistema não está preparado para trabalhar: proceder a alocação das máquinas em função do processo posterior. Primeiro seria necessário que o sistema pudesse fazer uma distribuição mais equilibrada da capacidade de confecção e vulcanização, com relação à produção desejada para cada medida. Segundo, o sistema também precisaria monitorar, continuamente, os *buffers* que mantêm o processo posterior em operação, particionando as ordem de produção (equivalente a um dia) em lotes menores de produção. As trocas seriam orientadas pelos níveis de estoques intermediários, mais um lote mínimo de produção. A lógica de operação do sistema representa uma visão local do processo estabelecido em cada roteiro.

Ficou evidente que a alocação das confeccionadoras não considerou as necessidades do processo seguinte, causando perdas de capacidade nos vulcanizadores (paradas). Se o sistema não consegue “enxergar” o processo seguinte, é possível deduzir que o inverso também acontece. A concentração excessiva de vulcanizadores, processando uma dada ordem, pode reduzir bruscamente o estoque de um tipo de carcaça, enquanto outra não é consumida. Se o vulcanizador parar por falta de carcaças, haverá a troca para a produção de outra medida. É lógico que a ordem interrompida por falta de materiais não foi concluída, o que significa que haverá outra troca para sua conclusão. As trocas comprometem a capacidade disponível de vulcanização. A distribuição equilibrada dos vulcanizadores, nas diversas ordens, é a única maneira possível de atender o programa.

Uma condição que ficou evidente durante o processo de modelagem e ensaios foi a forma como o sistema considera os estoques. Não há qualquer tipo de regra de decisão associada aos estoques, nem mesmo o emprego de materiais alternativos. Portanto, o sistema apenas executou movimentações de entrada e retirada de itens dos estoques, na medida em que produzia ou consumia materiais. Limitou-se a não executar ou interromper a execução de uma ordem quando lhe faltaram os componentes necessários.

Cabe lembrar que não é objetivo deste trabalho proceder quaisquer alterações nos algoritmos do produto, ou mesmo desenvolver soluções em nível de programação para atender às possíveis exigências identificadas durante os ensaios. A rigidez da versão disponibilizada para estudos também dificulta a criação de variáveis e o emprego de decisões lógicas para controle do modelo computacional, fato que já foi mencionado na seção 7.2. O Modelo Virtual no *Software*

FCS. O conhecimento obtido sobre o sistema permite observar que, se fosse resolvida a questão de alocação, provavelmente os resultados relativos à programação seriam satisfatórios. A falta de condições para construir um modelo capaz de representar, adequadamente, o comportamento do sistema produtivo estudado não impediu outras análises relativas ao funcionamento da ferramenta. Abaixo, serão apresentadas outras observações e conclusões, relativas à operação do sistema FACTOR, coletadas durante os ensaios e no trabalho de montagem do modelo computacional.

8.4. Observações sobre a Operação do Sistema FACTOR

Esta seção tem o objetivo de relacionar todas as observações e conclusões relativas ao sistema FACTOR, acumuladas ao longo do trabalho, e consideradas relevantes para efeito de programação da produção.

8.4.1. Aspectos Gerais do Sistema FCS

A primeira observação a respeito dos resultados obtidos com a ferramenta se refere ao fato de a versão disponível ser determinística. Tal condição exclui totalmente da modelagem o efeito das variabilidades do sistema produtivo. Diversos fenômenos poderiam ser melhor representados através de distribuições de probabilidades, como por exemplo: falhas de equipamentos em serviço e manutenções corretivas, variações nos tempos de processamento, geração de produtos não conformes, etc. Uma condição muito interessante, em razão da qual um sistema estocástico mereceria uma análise mais apurada é a denominada de simultaneidade. Um caso típico ocorre quando um funcionário opera várias máquinas ao mesmo tempo, como nos vulcanizadores. É uma situação onde se aplicam os conceitos de autonomia, o homem é separado da máquina e os tempos de mão-de-obra e equipamento são diferentes. O operador abastece e retira os pneus de vários vulcanizadores ao mesmo tempo. Enquanto os ciclos de vulcanização são desencontrados não há problema, mas se mais de um vulcanizador concluir o ciclo de vulcanização no mesmo momento, haverá espera da máquina pelo homem, implicando em perdas de produção. O número ideal de máquinas que um operador pode operar corresponde a um equilíbrio entre custo de mão-de-obra e as perdas de produção por simultaneidade. Uma simulação estocástica bem conduzida poderia auxiliar muito na determinação do ponto ideal. A empresa tem interesse nesse tipo de análise.

Outra condição importante, que o *software* FACTOR não disponibiliza, é a capacidade de gerar programações diferentes segundo algum parâmetro global de desempenho do sistema

produtivo. Não existe a possibilidade do analista criar cenários diferentes, a partir de parâmetros globais, como por exemplo: priorizar a conclusão das ordens nas datas de entrega, reduzir a quantidade de *Work in Process*, reduzir os tempos gastos com *setup*, maximizar a utilização dos recursos, etc. O produto apenas permite que o analista atribua “pesos” diferentes para alguns parâmetros de desempenho, os quais são utilizados numa média ponderada apresentada no relatório de performance da alternativa simulada. Em outras palavras, o cenário que o analista cria modificando condições de ordens, recursos, regras de decisão, etc, recebe apenas uma nota ponderada no que diz respeito aos resultados da alternativa. Os critérios de desempenho também são diferentes dos mencionados, como por exemplo: ordens concluídas com atraso, ordens concluídas antecipadamente, tempo médio de espera das ordens, tempo médio de processamento das ordens, etc. O resultado geral de um cenário simulado pode ser analisado no relatório *Alternative Performance*, o qual entre outros indicadores apresenta o índice denominado *Overall Weighted Performance Measure*. Esse último, representa o índice calculado a partir dos critérios de desempenho do sistema, mencionados acima.

Embora o ambiente do sistema operacional OS/2 da IBM seja gráfico, a versão 4.2 do FACTOR não apresenta as facilidades usuais dos sistemas *Windows*, largamente empregados nos dias de hoje. Por outro lado, toda a apresentação do produto, seus menus e telas são muito bem estruturados, permitindo o acesso fácil e rápido a todas as suas funções. Dentro dessas condições o sistema pode ser definido como de ótima qualidade. A documentação do FACTOR está disposta em seis manuais. A organização, apresentação e conteúdo dos manuais também se destacam pela qualidade. O sistema possui um *help on line* com explicações sobre o conteúdo de todos os campos das suas diversas telas. Praticamente, todas as principais informações contidas no volume 01 do manual estão disponíveis na função *help*, permitindo consultas rápidas com muita facilidade.

O sistema FACTOR possui uma grande quantidade de gráficos e relatórios que podem ser acessados para análise da performance de uma alternativa, de comparação entre alternativas, sobre os recursos, situação dos materiais e do comportamento das *loads* e *batch loads*. Com relação aos programas gerados, também existem diversas opções para análise da operações, programação das máquinas, materiais e ferramentas. De um modo geral os relatórios são muito extensos, contendo mais informações do que as usualmente necessárias. Por exemplo, não existe um relatório sucinto que apresente, objetivamente, como as ordens foram alocadas num determinado equipamento durante o período de simulação. Alguns relatórios apresentam tantas

informações que chegam a conter centenas de páginas, tornando-se não operacionais para uso no chão-de-fábrica. Nesse aspecto, a versão disponível precisa ser melhorada.

Como observação final sobre a visão geral do sistema, verificou-se que, uma vez iniciada uma simulação, não é possível o seu cancelamento. Significa que, se o analista identificar uma correção a ser feita, tem de esperar a conclusão do processamento em curso, antes que possa executar as correções necessárias e, após, “rodar” o modelo novamente. Essa situação ocorreu durante a modelagem.

8.4.2. Aspectos Funcionais do Sistema FCS

Como já foi comentado na seção 7.2. O Modelo Virtual no *Software* FCS, o modelo global do sistema produtivo deve ser construído a partir de vários roteiros de produção independentes, considerando os diversos processos existentes e a própria estrutura dos produtos. Os roteiros muito extensos, envolvendo várias etapas do processo produtivo, não permitem a emissão de ordens de produção distintas entre as diversas fases, pois cada ordem identifica apenas um roteiro de produção e não um *jobstep* intermediário de um roteiro. Essa característica posiciona as *loads* de uma ordem obrigatoriamente no primeiro *jobstep* do respectivo roteiro.

A lógica geral do sistema corresponde à produção “empurrada” com *schedule* do tipo *forward*, adequada ao processamento de ordens geradas através do cálculo das necessidades de materiais, em sistema do tipo MRPII. O sistema FACTOR não é capaz de gerar as ordens de produção, as quais precisam ser calculadas externamente e depois inseridas no *software* via processamento eletrônico ou manualmente. Outra característica do FACTOR é o seu comportamento quanto aos estoques. Apesar de movimentar materiais durante o processo de simulação, o sistema não consegue “enxergar” os estoques de forma integrada. Se existe um estoque residual de um determinado item, o sistema não é capaz de diminuir o tamanho de uma ordem com o objetivo de reduzir os materiais em processo. Tornou-se claro que esse tipo de ação fica sob a responsabilidade do cálculo das necessidades de materiais que, entre outros fatores, deve considerar os estoques existentes na fábrica como um todo.

Apesar de não ser o objeto deste trabalho, alguma análises superficiais foram realizadas a respeito de como poderia ser montado um modelo “puxado” com o uso do sistema Kanban. O conceito básico foi montar o roteiro de fabricação ao contrário: de trás para frente. Concluída a operação final, a *load* comanda a reposição da(s) peça(s) utilizada(s) no *jobstep* seguinte, correspondente à penúltima operação, e assim por diante. O que transparece é que o sistema não foi desenvolvido para tal e, provavelmente, surgirão dificuldades de modelagem tais como:

a) necessidade de roteiros longos que representem todo o processo de fabricação do produto de modo que a *load* (equivalente ao Kanban) o percorra etapa por etapa, como o sinal que aciona a reposição dos materiais;

b) na situação descrita no item anterior ficou pendente a questão de como fazer os processos intermediários trabalharem logo no início da simulação, sem a *load* que representa o Kanban haver chegado nos respectivos *jobsteps*;

c) se os roteiros forem particionados, fica rompida a reposição dos itens de forma “puxada”, porque não foi encontrada a condição de direcionamento *loads* entre roteiros. Isso implicaria na emissão de ordens para processos intermediários;

d) provavelmente, haverá conflito entre a quantidade da ordem do produto final e o tamanho das diversas ordens de reposição (Kanbans) para os itens intermediários. Lembrando que as *loads* do produto final percorreram o roteiro como o sinal ou o Kanban para a reposição dos materiais consumidos.

O elo de ligação entre os diversos roteiros do modelo são os estoques, embora essa condição não seja comentada com a ênfase necessária nos manuais. Essa dedução foi confirmada apenas numa passagem encontrada no manual do FACTOR *Base System Vol 01* (1992) onde existe a seguinte afirmação: “Materiais podem ser usados como uma interface entre os roteiros de duas ou mais ordens”. As faltas de materiais interrompem o processamento das ordens e são geralmente causadas por problemas de capacidade, pelo cálculo incorreto das quantidades a serem produzidas ou mesmo por problemas na data de liberação de uma ordem para produção. Não foi encontrado no sistema FACTOR recurso visando reservar materiais para uma determinada ordem. Isso significa que as remoções de materiais do estoque ocorrem aleatoriamente e uma ordem pode consumir, indiscriminadamente, materiais que foram produzidos com o objetivo de atender a outra ordem mais importante.

Uma característica observada no sistema, e também mencionada no manual do produto, é quanto ao momento em que ocorre a remoção dos materiais do estoque. A retirada dos materiais, necessários à execução de uma *load*, ocorre após a alocação do recurso, mas antes do processamento propriamente dito. Como resultado, um recurso pode ser alocado e permanecer mobilizado enquanto aguarda materiais para executar uma atividade. Essa condição pode ser facilmente contornada com o uso de dois *jobsteps*, o primeiro apenas remove materiais enquanto o segundo trata da alocação do recurso. Esse procedimento “barra” as *loads* no *jobstep* remover materiais, antes que elas possam alocar o recurso. Por outro lado, ao utilizar o *jobstep* produção, ocorre um efeito semelhante na adição de materiais ao estoque. O sistema aloca o recurso,

adiciona os materiais ao estoque e depois simula o processamento, que normalmente não é instantâneo. Então, os itens são colocados no estoque mesmo antes da conclusão do tempo equivalente à sua produção. Desde que o analista esteja ciente desse comportamento, esse efeito pode ser facilmente manejado com o emprego de dois *jobsteps* separados (operação associado a outro do tipo adicionar materiais).

Não foram encontradas, no sistema FACTOR, regras de decisão visando a utilização de itens alternativos na estrutura do produto. Na falta de um componente, por exemplo, o sistema poderia prever a condição de desvio das *loads* até outro *jobstep*, o qual completaria o processamento com o emprego de componentes alternativos. Os roteiros alternativos do FACTOR apresentam apenas uma opção de desvio: quando o recurso necessário se encontra indisponível.

O cadastramento peças se confunde com o de materiais, onde uma peça precisa ser cadastrada como material e também como peça, em *menus* diferentes. As informações inseridas em cada *menu* são diferentes. Embora não hajam inconvenientes operacionais, esse cadastramento pode ser reunido em uma única opção, melhorando o sistema.

As *loads* percorrem o sistema na seqüência estabelecida pelos *jobsteps* dos roteiros de produção. Outro efeito observado em decorrência dessa condição é a não antecipação de *setups*. Ao chegar num *jobstep* do tipo *setup*, a *load* traz consigo a informação do tipo de peça que será processado, permitindo ao sistema fazer comparações entre os códigos da última peça produzida e da próxima que entra em produção. Ao comparar os respectivos códigos dos itens, o sistema determina a necessidade, ou não, de preparação do equipamento de acordo com o estabelecido pelo analista. Nas condições em que o equipamento está ocioso, por falta de ordens de produção, o sistema não tem mecanismos para antecipar qual a próxima peça que deverá chegar ao centro de trabalho, de maneira a proceder a preparação da máquina enquanto esta se encontra ociosa. Somente no momento em que a *load* chega no *jobstep* correspondente ao *setup*, o sistema pode identificar se há necessidade de preparação, simulando essa atividade. A antecipação de *setup* é uma condição comum nos sistemas produtivos e, esse recurso de modelagem precisa estar incorporado ao sistema FCS.

Outra observação, relativa ao *setup*, é sobre o comportamento do sistema no emprego do *jobstep* tipo *batch*, utilizado no agrupamento de peças diferentes (originadas de ordens diferentes) em uma única carga denominada *batch load*. O *batch load* viaja pelo sistema como uma *load* convencional. Existem diversas regras de separação que determinam a maneira como o *batch* é formado. A regra “separar pelo código da peça”, por exemplo, cria novas *batch loads*

por tipo de peça, sem misturá-las num mesmo agrupamento. A liberação do *batch load* acontece na medida em que este atende a uma condição, que pode estar relacionada com a quantidade do *batch* ou com o fator temporal (liberação periódica). Outra regra agrupa todas as *loads* que chegam num mesmo *batch load*, sem se importar se as peças são do mesmo tipo. Durante a construção do modelo piloto, vários testes foram realizados com o *jobstep batch*, com o objetivo de representar um vulcanizador trabalhando com dois moldes diferentes (dois produtos diferentes). Observou-se que é necessário tomar cuidado com o emprego de *batch loads* que contenham peças diferentes, quando existem *jobsteps* do tipo *setup* no roteiro. No caso, existe uma indeterminação de qual das peças será representativa do estado futuro do equipamento, dificultando o acesso à matriz de *setup*. A situação pode melhor ser entendida com o exemplo da Figura 28, exatamente como ocorreu em um dos testes

<i>Teste Batch Load</i>	
Sejam P1 e P2 os tipos de peças que formarão os <i>batch loads</i> .	
Regra de acumulação: Todas as <i>loads</i> que chegam são colocadas no mesmo <i>batch load</i> .	
Regra de Liberação: Quantidade mínima para liberação igual a duas peças .	
1º <i>batch load</i> (P1,P1)	O sistema considera os vulcanizadores preparados para produzir P1, de acordo com o padrão, e não procedeu troca alguma.
2º <i>batch load</i> (P1,P2)	Embora uma das peças seja diferente, em relação às anteriormente produzidas, o sistema não procedeu a preparação correspondente.
3º <i>batch load</i> (P2,P2)	O sistema percebe a mudança de P1 para P2 e procede a preparação do vulcanizador.

Figura 28. Teste de *Batch Loads X Setup*.

A modelagem de *batch loads* em roteiros com *jobsteps* do tipo *setup* deve ser cuidadosa.

No caso dos vulcanizadores, onde cada equipamento processa até duas carcaças ao mesmo tempo, a própria configuração do recurso interfere diretamente no problema de *setup*. As várias possibilidades de configuração do modelo têm implicações diferentes no seu comportamento: um recurso com duas unidades iguais a um vulcanizador, grupo de dois recursos igual a um vulcanizador, um recurso simples que processa duas carcaças ao mesmo tempo igual a um vulcanizador, etc. Em um recurso com duas unidades, por exemplo, cada molde faz preparações e inicia ciclos de forma independente, o que não condiz com a realidade. Formar um grupo de recursos com dois vulcanizadores de um molde cada um, também apresenta

esse mesmo comportamento. Um recurso simples que processa duas diferentes carcaças ao mesmo tempo, ou está preparado para um tipo ou para outro, incorrendo sempre num desvio.

Ao cadastrar um recurso, o analista encontra um campo que define quantas unidades desse recurso são disponíveis para a alocação de *loads*. Outro efeito de alocação e *setup* foi observado nessas circunstâncias. Um recurso com capacidade igual a dois foi criado para representar um vulcanizador. Como é *default*, se não for informado ao contrário, o sistema assume o recurso já preparado para o primeiro tipo de peça que proceder a alocação do recurso. Após o início da simulação, uma *load* contendo uma carcaça do pneu P1 iniciou imediatamente o processamento utilizando apenas uma unidade do recurso. Minutos depois, uma segunda *load* contendo uma carcaça de P2 chegou ao recurso, o qual ainda apresentava sua segunda unidade disponível. Observou-se que primeiro houve um tempo de *setup* na unidade dois e, só depois a carcaça P2 iniciou seu processamento. A conclusão foi a de que o sistema assumiu as duas unidades do recursos preparadas para P1, embora esta só tenha alocado efetivamente uma unidade. Embora a segunda unidade do recurso ainda não houvesse sido alocada durante a simulação em curso, a condição *default* de preparação não se verificou.

No sistema FACTOR, uma *load* é sempre alocada a apenas um recurso ou unidade de recurso, uma regra que deve ser permanentemente considerada durante a modelagem do sistema. Por exemplo, se for necessário proceder o processamento simultâneo de várias peças contidas numa mesma *load*, o *jobstep* acumular/dividir deverá ser empregado para desdobrar a *load* em lotes menores, os quais poderão ser alocados em vários recursos ao mesmo tempo. De um modo geral o analista deve definir cuidadosamente o tamanho das *loads*, as regras de alocação dos recursos, e a formatação dos próprios recursos. Caso contrário, o comportamento do modelo será diferente do sistema real.

A prioridade de uma ordem de produção é definida por um número, registrado pelo analista na própria ordem. Quanto maior for esse número, maior será a prioridade da ordem. Naturalmente, essa informação circula pelo sistema, juntamente com as *loads* correspondentes a cada uma ordens liberadas. Segundo o manual do sistema, *Base System* Vol. 01 (1992), as ordens sem prioridade definida são liberadas de forma aleatória. Enquanto observado, o comportamento de liberação das ordens, com mesma prioridade, parece seguir a seqüência alfanumérica do código das ordens.

Quando uma *load* tenta alocar um recurso indisponível, ela é colocada numa fila juntamente com as demais *loads* que disputam o mesmo recurso. O ordem dessa fila é definida pelas regras de prioridades de sequenciamento. O sistema FACTOR possui 17 regras diferentes

e nem todas as regras de sequenciamento foram testadas. Todas as opções testadas funcionaram corretamente: FIFO (*First In-First Out*), LIFO (*Last In-First Out*), da maior para a menor prioridade, da menor para a maior prioridade, menor tempo de processamento para o *jobstep* corrente, etc. Nem todas as regras teriam aplicação no modelo desenvolvido, entretanto, considerando a sua importância, futuramente seria conveniente estudá-las uma a uma.

Outro dispositivo experimentado foi o de gerenciamento de ferramentas. No sistema FACTOR, as ferramentas são cadastradas com o registro da sua vida útil e respectivo local de armazenagem. O próprio sistema deduz, de cada ferramenta, os tempos de utilização ou de desgaste. Isso ocorre de acordo com o emprego das ferramentas, durante o processamento das ordens. O desgaste é ajustado por um fator denominado de *wear factor*, registrado no cadastramento das ferramentas. Esse fator multiplica o tempo de processamento assinalado no roteiro. Assim, se o fator é menor que um, o desgaste imputado à ferramenta é proporcionalmente menor do que o tempo de processamento do *jobstep*. Ao contrário, se o fator é maior do que um, o desgaste atribuído à ferramenta é maior do que o tempo de processamento correspondente.

Após os comentários dos resultados obtidos e de características operacionais do sistema FACTOR, o capítulo nono apresenta um parecer global sobre o potencial do *software* como ferramenta de programação da produção e de apoio à tomada de decisão. Neste mesmo capítulo, também são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 9

CONCLUSÃO E SUGESTÕES

9.1. Conclusão

A condição de representar o mundo real em sistemas computacionais deve ser vista com cautela, tanto pelo aspecto da complexidade, quanto pelos recursos e capacidade que cada *software* dispõe para fazê-lo. A modelagem de processos produtivos não foge a essa regra.

Embora o modelo computacional desenvolvido não tenha reproduzido adequadamente o comportamento dos processos analisados, faz-se necessário algumas considerações.

O sistema FACTOR FCS, através dos seus componentes e regras de decisão standard, é capaz de representar diversos eventos e atividades que ocorrem no chão-de-fábrica. Entretanto, a variedade e a complexidade dos processos produtivos podem impor restrições à sua capacidade de modelagem. Ao verificar que um sistema FCS também sofre limitações, fica evidente o quanto é deficiente a forma simplificada como os sistemas MRPII tratam o problema de capacidade.

O emprego de decisões lógicas e variáveis podem ampliar muito a capacidade do analista refinar e controlar o comportamento do modelo virtual. No FACTOR 4.2, esse recurso implica no desenvolvimento de comandos em linguagem de programação “C”, o que não é amigável aos gestores de fábrica. O produto precisa oferecer esse tipo de recurso através de caixas de diálogo, uma prática comum nos modernos sistemas *Windows*. O desenvolvimento de regras de decisão, definidas pelo usuário, também deve ser disponibilizada da mesma forma.

Tudo indica que seria possível desenvolver uma nova regra de sequenciamento em função do estoque mínimo de carcaças conformadas, permitindo a alteração da prioridade das *loads* na fila de disputa pelas confeccionadoras. Ao atingir um estoque crítico de carcaças, a fila de demanda por um determinado grupo de confeccionadoras seria reordenada, forçando uma troca na confecção. De acordo com os ensaios realizados, o modelo computacional apresentaria melhores resultados se essa regra fosse criada. Esse tipo de regra de decisão é indispensável em sistemas de manufatura do tipo tradicional repetitiva, onde os estoques intermediários funcionam como *buffers*, os quais asseguram o abastecimento de materiais entre os processos sequenciais.

Como parecer geral, o sistema possui um bom potencial para representar processos produtivos, o que significa capacidade de antecipação de problemas e redução de perdas por problemas de programação. Muita atenção deve ser dispensada na validação do modelo, pois o sistema apresenta limitações quanto à capacidade de modelagem.

Outro aspecto a ser considerado é o de geração de ordens de produção. As variabilidades dos processos produtivos exigem agilidade na reprogramação das ordens, como acontece, por exemplo, nos processos estudados. Entre a confecção e a vulcanização, a reprogramação acontece a cada 24 horas, período em que as variabilidades do sistema produtivo são compensadas através do ajuste das quantidades. Simulações com horizonte superior a um dia, a partir de ordens fixas de produção, desviam-se progressivamente do comportamento do sistema real. O problema de variabilidade é agravado pela condição determinística do produto. Seria recomendável a condição do próprio sistema ser capaz de proceder cálculos de materiais, realimentando o processo de planejamento e, conseqüentemente, o de programação.

Nem todas as empresas operam com sistemas do tipo MRPII instalados, sendo as ordens geradas manualmente ou com o auxílio de aplicativos em microcomputadores. A incapacidade de gerar as ordens de produção significa que o produto não é auto-suficiente como ferramenta de planejamento e programação da produção. Sistemas produtivos mais complexos exigem que o planejamento de materiais seja realizado de forma automatizada, representando a necessidade de mais investimentos em *software*. Seria bastante interessante uma pesquisa entre os principais sistemas FCS disponíveis no mercado, enfocando, entre outros aspectos, a sua condição de executar ou não o planejamento de materiais. A pesquisa publicada no artigo de Carrilo (1994) foi uma grande iniciativa nesse sentido, mas precisa ser ampliada.

A própria essência da técnica de simulação é outro fator importante a ser considerado. As regras de decisão orientam, em parte, o comportamento do modelo virtual e sob esse aspecto lhe conferem certa “inteligência”, na medida em que o modelo replica decisões que são tomadas no decorrer do processo de produção. Mas a essência do modelo não é otimizante em si. As regras são apenas uma maneira de equacionar o problema da capacidade produtiva. Assim, as soluções apresentadas podem ser factíveis mas não representam uma otimização em relação ao desempenho do processo produtivo e seus recursos. Ainda sob esse aspecto, em todos os modelos o processo de alocação dos recursos e sequenciamento precisam ser cuidadosamente analisados e compreendidos, sob pena do sistema fornecer soluções relativamente “pobres”.

O sistema FACTOR não possui algoritmos heurísticos ou otimizantes para gerar programas diferenciados, de acordo com índices de performance globais do sistema produtivo. Sua lógica compreende uma visão local dos processos. O modelo computacional desenvolvido apresentou soluções para a programação das áreas envolvidas, mas inferiores àquelas produzidas manualmente pela programação da fábrica. Mesmo que fossem desenvolvidas regras de decisões

correspondentes para emular a programação atual, seria desejável que o sistema pudesse sugerir soluções de melhor qualidade.

Outros fatores a serem considerados são a acurácia dos dados de entrada e manutenção do modelo. Pressupõe-se que, se houve validação, num determinado momento o modelo e também os dados atingiram uma condição satisfatória. Como os sistemas produtivos são muito dinâmicos é necessário que se estabeleçam políticas e procedimentos visando a manutenção de ambos; caso contrário não serão atingidos os resultados desejados. Esse esforço é significativo e representa um custo razoável associado à operação do sistema.

O escopo do trabalho não contempla a análise do processo de implantação do sistema FCS, mas essa etapa certamente constitui outro grande desafio. O emprego efetivo da ferramenta representa uma mudança cultural e está sujeito a todo o tipo de interferências e resistências. O caminho mais inteligente é, sem dúvida, o envolvimento das pessoas e a participação no processo. Tanto o sistema precisa fornecer resultados palpáveis, quanto as pessoas precisam saber como será o seu trabalho com a nova ferramenta.

A impressão geral é que a utilização de ferramentas FCS pode ser muito útil. Por outro lado, o emprego dessa tecnologia representa altos custos de aquisição, implantação, manutenção e operação. Ainda permanece a pergunta: estariam as empresas dispostas a fazer os investimentos necessários para adotar esse tipo de solução? É certo que os custos associados fazem os empresários e executivos pensarem duas vezes, antes de tomar uma decisão de investimento na tecnologia de Planejamento Fino da Produção. Esse tipo de solução é pouco conhecida e essa perspectiva acarreta dúvidas quanto aos resultados que poderão ser obtidos. Uma boa forma de ampliar o uso de sistemas FCS, seria o desenvolvimento de estudos consistentes no que diz respeito às oportunidades de ganho que a ferramenta pode proporcionar. A apresentação de projetos, com propostas objetivas de ganhos e custos associados, representa uma boa estratégia de convencimento. De um modo geral, os argumentos estritamente comerciais não são suficientes para uma decisão favorável, especialmente porque o cliente se sente inseguro quanto ao possível retorno do seu investimento.

9.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

A primeira idéia que surge, no sentido de ampliar o estudo desenvolvido neste trabalho, seria a solução do problema de sequenciamento, o qual impediu a programação efetiva das áreas estudadas e, em seguida, ampliar a abrangência do modelo. A experimentação efetiva do sistema como ferramenta de programação no dia-a-dia de produção pode trazer à tona outras conclusões

preciosas. Além dos recursos humanos necessários, esse tipo de avaliação possivelmente exigiria customizações e o interfaceamento com sistemas da empresa, adequando corretamente a ferramenta ao ambiente de manufatura. Todo esse esforço certamente representa um custo associado.

Ainda com uma visão enfocada no sistema FACTOR, os ensaios são restritos ao ambiente da empresa objeto deste estudo. Seria interessante estender esse tipo de experimentação para sistemas produtivos com outras características. Pesquisas sobre aplicações, em vários ambientes de manufatura permitiriam a construção de um conceito mais genérico sobre as possibilidades e restrições da ferramenta.

Também, considerando a abrangência das mudanças que envolvem o uso de uma ferramenta desse tipo, outro tema muito interessante para um trabalho futuro seria o estudo do processo de implantação de sistemas FCS. Como por exemplo, o desenvolvimento e a experimentação de uma sistemática para implementação global, que considere desde aspectos gerenciais até operacionais no chão-de-fábrica.

Os ensaios realizados não são restritos apenas ao sistema produtivo, mas também ao produto em si. Uma situação ideal seria chegar à formação de um conceito global sobre o potencial da lógica FCS baseada em simulação com regras de decisão. Por essa razão, fica registrada a sugestão para que mais estudos sejam realizados com outras ferramentas disponíveis no mercado.

Finalmente, uma proposta mais arrojada sugere a experimentação de sistemas com outras lógicas de programação de Capacidade Finita, como por exemplo, com algoritmos matemáticos puramente otimizantes e heurísticos. O maior interesse estaria centrado nos *software* com algoritmos matemáticos heurísticos, considerando que os modelos matemáticos otimizantes ainda têm uma abrangência de aplicação muito limitada. Um trabalho dessa ordem permitiria a comparação de resultados entre lógicas diferentes de operação dos sistemas FCS, fornecendo informações e resultados mais amplos.

Em síntese, todas as sugestões de trabalhos futuros convergem para a mesma idéia: a de produzir informações úteis à tomada de decisão sobre o emprego de ferramentas do tipo *Finite Capacity Schedule*. Quanto maior for o volume de dados disponíveis, mais fácil será estabelecer relações de custo/benefício que possam justificar o emprego dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMMER, D. S. Administração de Materiais. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1979. 528p.
2. ASHTON, J. E.; JOHNSON, M. D.; COOK, F. X. Shop Floor Control in a System Job Shop: definitely not MRP. *Production and Inventory Management Journal*, Second Quarter, 1990.
3. AUGUSTO, A. Repensando a Maneira de Trabalhar. Revista Byte Brasil, p. 32-38, agosto, 1996.
4. BASTOS, R. M. Sistemas de Planejamento das Necessidades de Materiais e dos Recursos de Manufatura MRP e MRPII. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
5. BERRY, W. L.; THOMAS, G. S.; VOLMANN, T. E. Capacity Planning Techniques for Manufacturing Control Systems: Information Requirements and Operational Features. *Journal of Operations Management*, vol.3, no. 1, p. 13-25, november, 1982.
6. CARRILO JR., E. MRP + PCF - Uma Combinação. Jornal do IMAM, p.1-4, abril, 1997.
7. CONWAY, R. W. Theory of Scheduling. *New York, Addison Wesley*, 1967. 294p.
8. CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. Just In Time, MRP e OPT - Um Enfoque Estratégico. São Paulo, Atlas, 1993. 186p.
9. FAVARETTO, F.; HAYASHI, C. H.; BREMER, C. F.; ROZENFELD, H. Aspectos Relevantes na Implantação de Sistemas de Planejamento Fino da Produção. Anais do XIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção e I Congresso Latino Americano de Engenharia Industrial, vol. 1, p.307-312, Florianópolis, outubro, 1993.
10. FLAPPER, S. D. P.; MILTENBURG, G. J.; WIJNGAARD, J. Embedding JIT into MRP. *International Journal of Production Research*, vol. 29, no. 2, p.329-341, 1991.
11. FRANKS, S. Finite Scheduling: breaking through the traditional manufacturing control barriers. *Sapics 15th International Conference on Challenging Traditional Thinking*, Durban, South Africa, June, 1993.

12. GARDINER, S. C.; BLACKSTONE JR., J. H. Impact of lot-sizing on the financial performance of dispatching techniques in an MRP-planned fabrication and assembly environment. *International Journal of Production Research*, vol. 31, no.7, p.1595-1610, 1993.
13. GOLDRATT, E. M. Computerized shop floor scheduling. *International Journal of Production Research*, vol. 26, no. 3, p.443-455, 1988.
14. GOLDRATT, E. M. Mais que Sorte...Um Processo de Raciocínio. São Paulo, Educator, 1994. 303p.
15. GOLDRATT, E. M.; COX, J. A Meta - Um Processo de Aprimoramento Contínuo. São Paulo, Educator, 1993. 318p.
16. GOLDRATT, E. M.; FOX, R. E. A Corrida Pela Vantagem Competitiva. São Paulo, Educator, 1989. 177p.
17. GOLHAR, D.Y.; STAM, C. L. The Just-in-time philosophy: a literature review. *International Journal of Production Research*, vol. 29, no. 4, p.657-676, 1991.
18. HEGSTAD, M. A simple, low-risk, approach to JIT. *Production Planning & Control*, vol. 1. no. 1, p.53-60.
19. HUTHER, W. H. A management guide to MRPII: Manufacturing Resource Planning. *Management Review*, June, 1983.
20. INGLESBY, T. MRP? Finite Scheduling? Yes, No & Maybe. *Manufacturing Systems*, p. 57-60, March, 1991.
21. LARSEN, N. E.; ALTING, L. Criteria for selecting a production control philosophy. *Production Planning & Control*, vol. 4, no. 1, p.54-68, 1993.
22. LAW, A. M.; KELTON, W. D. Simulation Modeling & Analysis. Singapore, McGraw Hill, 1991. 760p.
23. LITTLE, D. PORTER, K. JARVIS, P. C. KENWORTHY J. G. MRPII and stand-alone finite schedulers: the relationships. *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 6, no.1, p.22-26, 1995.
24. MACCARTHY, B. L.; LIU, J. Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling. *International Journal of Production Research*, vol. 31, no. 1, p.59-79, 1993.

25. MELLO, M. C.; BREMER, C. F.; ROZENFELD, H. Localização do Planejamento Fino e Controle da Produção na Manufatura Integrada. Anais do XIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção e I Congresso Latino Americano de Engenharia Industrial, vol. 1, p. 79-86, Florianópolis, outubro, 1993.
26. MICRO MRP Inc. Max User Guide - Shop Floor Control. Foster City, 1991.
27. MONKS, J. G. Administração da Produção. São Paulo, McGraw Hill, 1987. 502p.
28. MOURA, R. A. Kanban - A Simplicidade do Controle da Produção. São Paulo, Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais - IMAM, 1989. 355p.
29. ORLICKY, J. Material Requirements Planning - The New Way of Life in Production and Inventory Management. New York, McGraw Hill, 1975. 292p.
30. PEDROSO, M. C.; CORRÊA, Henrique L. Sistemas de Programação da Produção com Capacidade Finita: Uma decisão Estratégica? RAE - Revista de Administração de Empresas, p. 60-73, São Paulo, Outubro-Dezembro, 1996.
31. PIEMONTE, L. A. Planejamento Fino da Produção. Revista Tribuna Livre, p. 34-38, São Paulo, Setembro - Outubro, 1992.
32. PLOSSL, G. Orlicky's Material Requirements Planning. New York, McGraw Hill, 1995. 311p.
33. PRITSKER, A. A.; LILEGDON, W. R.; MARTIN, D. L. FACTOR/AIM: A Manufacturing Simulation System. *Simulation*, p.367-372, June 1994.
34. PRITSKER Corporation. FACTOR User Guide Version 4.0 - Base System - Vol.01. Indianapolis, 1992. 439p.
35. PRITSKER Corporation. FACTOR User Guide Version 4.0 - Output Analysis System. Indianapolis, 1992. 413p.
36. PRITSKER Corporation. FACTOR User Guide Version 4.0 - Site Specific Tailoring - Vol.01. Indianapolis, 1992. 583p.
37. PRITSKER Corporation. FACTOR User Guide Version 4.0 - Site Specific Tailoring - Vol.02. Indianapolis, 1992. 379p.

38. PROENÇA, A. et al. *Manufatura Integrada Por Computador. Sistemas Integrados de Produção: Estratégia, Organização, Tecnologia e Recursos Humanos*. Rio de Janeiro, Senai/Coppe/UFRJ, Campus, 1995. 450p.
39. RODRIGUES, L. H. *Artigo Apresentação e Análise Crítica da Tecnologia da Produção Otimizada (Optimized Production Technology - OPT) e da Teoria das Restrições (Theory of Constraints - TOC)*, Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.
40. RODRIGUES, L. H. *Developing an Approach to Help Companies Synchronise Manufacturing*. Dissertação de Doutorado, *Department of Management Science, Lancaster University*, Lancaster, 1994.
41. RUSSOMANO, V. H. *Planejamento e Acompanhamento da Produção*. São Paulo, Pioneira, 1986. 240p.
42. SACOMANO, J. B. *Uma Análise da Estrutura Funcional do Planejamento e Controle da Produção e suas Técnicas Auxiliares*. Dissertação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.
43. SHINGO, S. *Sistemas de Produção com Estoque Zero: O Sistema Shingo para Melhorias Contínuas*. Porto Alegre, Artes Médicas, 1996. 380p.
44. SHINGO, S. *O Sistema Toyota de Produção - Do Ponto de Vista da Engenharia da Produção*. Porto Alegre, Artes Médicas, 1996. 291p.
45. SLACK, N. et al. *Administração da Produção*. São Paulo, Atlas, 1996. 726p.
46. SPENCER, M.S.; COX, J.F. *The role of MRP in repetitive manufacturing*. *International Journal of Production Research*, vol. 33, no. 7, p.1881-1899, 1995.
47. TSUBONE, H.; MATSUURA, H.; TSUTSU, T. *Hierarchical production planning system for a two-stage process*. *International Journal of Production Research*, vol. 29, no. 4, p.769-785, 1991.
48. UMBLE, M. M. *Analyzing Manufacturing Problems Using V-A-T Analysis*. *Production And Inventory Management Journal - Second Quarter*, p. 55-60,1992.
49. WALTER, C. *Apostila Modelagem e Análise de Sistemas de Manufatura*. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

50. WEISS, E. N. Lot Sizing is Dead: Long Live Lot Sizing. *Production And Inventory Management Journal - First Quarter*, p. 76-78, 1990.
51. WIGHT, O. W. Manufacturing Resource Planning: MRPII - Unlocking America's Productivity Potential. Vermont, The Book Press, 1984. 520p.
52. WOOD JR., T. Fordismo, Toyotismo e Volvismo: Os Caminhos da Indústria em Busca do Tempo Perdido. *Revista de Administração de Empresas*, Setembro-Outubro, 1992.