

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE AUXÍLIO NA PROGRAMAÇÃO  
DE PRODUÇÃO BASEADO NO MRPII**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA  
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA**

**JOSÉ CARLOS VALDEZ NÚÑEZ**



0.221.907-3

UFSC-BU

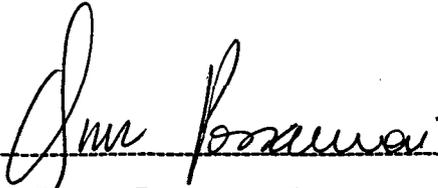
**FLORIANÓPOLIS, ABRIL DE 1994**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE AUXÍLIO NA PROGRAMAÇÃO  
DE PRODUÇÃO BASEADO NO MRPII**

**JOSÉ CARLOS VALDEZ NÚÑEZ**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

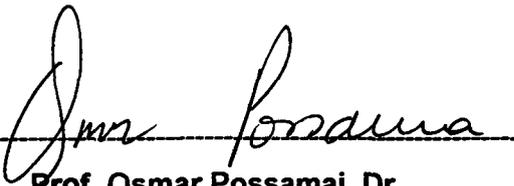
Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação



**Prof. Osmar Possamai, Dr.**

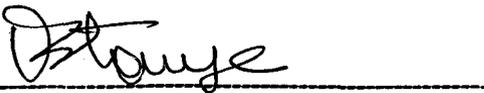
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Banca Examinadora:



**Prof. Osmar Possamai, Dr.**

Orientador



**Prof. Plinio Stange, Dr. Ing.**



**Prof. Fernando Ostuni Gauthier, Dr.**

*A minha mãe Nury*

## AGRADECIMENTO

Consegui materializar este trabalho contando com ajuda de algumas pessoas e instituições a quem agradeço infinitamente. Elas são minha esposa Neiva, pelo companheirismo oferecido durante todo este tempo e a contínua ajuda na correção do português deste trabalho; o professor Osmar Possamai, pela orientação e paciência que teve comigo; minha família no Peru, pelo apoio incondicional que sempre me deram, meus amigos Ana Maria, Eudes, Jader, Maurilio e a todos aqueles que de uma maneira ou de outra ofereceram-me sempre uma "força inequacionável" neste maravilhoso país, obrigado por esse vínculo de amizade que teremos sempre.

Também desejo agradecer ao CNPQ pela ajuda econômica recebida durante a realização do mestrado e à Fundação Tupi de maneira geral; cujo pessoal de Programação e Controle de Produção me ofereceu a informação inicial necessária para a elaboração do sistema apresentado neste trabalho.

## SUMARIO

Lista de figuras .....	vii
Lista de tabelas .....	x
Resumo .....	xii
"Abstract" .....	xiii
CAPÍTULO 1 - Introdução .....	1
CAPÍTULO 2 - Planejamento e controle de produção no ambiente MRPII .....	5
2.1. Programação e controle de produção .....	5
2.2. Níveis de planejamento .....	6
2.3. Classificação do problema de programação de produção .....	8
2.3.1. Classificação por geração de pedidos .....	8
2.3.2. Classificação por complexidade do processo produtivo .....	9
2.3.3. Classificação por critério de programação .....	9
2.3.4. Outras classificações .....	10
2.4. Planejamento de recursos de produção - MRPII .....	11
2.5. MRPII e outras tecnologias de administração da produção .....	12
2.6. Análise de um sistema MRPII - O COPICS da IBM .....	13
2.6.1. Módulos de administração do COPICS .....	14
2.6.2. Módulos de engenharia de produto e fabricação .....	15
2.6.3. Módulos de planejamento e controle de produção .....	16
2.6.4. Planejamento e controle de produção no meio COPICS .....	17
2.7. A programação de produção no "chão de fábrica" .....	18
2.8. Vantagens de um bom planejamento de produção .....	19
2.9. Limitações de sistemas MRPII na programação de produção .....	20
CAPÍTULO 3 - Critérios e técnicas no planejamento de produção .....	22
3.1. Novas tecnologias em PCP .....	22
3.1.1. CIM, o conceito da automação integrada .....	23
3.1.2. CIM e o planejamento e controle de produção .....	25
3.1.3. MRPII e CIM .....	26
3.2. Critérios utilizados na programação de produção .....	27
3.3. Critérios para alocação de carga de máquina .....	28
3.3.1. <i>Set up</i> de máquina e tecnologia de grupo .....	29

3.3.2. Balanceamento de carga e utilização de máquina .....	30
3.3.3. Rejeição de ordens de trabalho .....	32
3.3.4. Regras de prioridades para seqüenciamento de operações .....	35
3.3.5. Regras heurísticas para programação de produção .....	37
3.4. Avaliação de modelos de programação de produção .....	38
3.4.1. Coeficientes para avaliação de performance de fábrica .....	39
3.5. Critérios utilizados no modelo proposto .....	40
CAPÍTULO 4 - Modelo de fábrica e estrutura de produto .....	42
4.1. Modelos no sistema de planejamento de produção .....	42
4.2. Modelo de disponibilidade de fábrica .....	43
4.3. Modelo de produto .....	48
4.4. Modelo de demanda .....	52
4.5. Características dos modelos apresentados .....	54
CAPÍTULO 5 - Lógica do sistema de planejamento de produção .....	56
5.1. Alocação de tarefas no "chão de fábrica" .....	57
5.2. Heurísticas na alocação de tarefas .....	60
5.3. Geração dos diagramas de Gantt .....	61
5.4. Balanceamento de estações de trabalho .....	64
5.5. Atraso de tarefas .....	68
5.6. Aplicação do sistema - Planejamento de produção .....	70
5.6.1. Geração de ordens de trabalho .....	71
5.6.2. Alocação de carga nas estações de trabalho .....	73
5.6.3. Determinação de gargalos no sistema .....	75
5.6.4. Seqüenciamento de operações nas estações de trabalho .....	76
5.6.5. Atraso de tarefas .....	86
5.6.6. Dados do programa .....	90
5.7. Aplicação do sistema - Quebra de máquina .....	92
5.8. Aplicação do sistema - Inserção de ordem .....	95
CAPÍTULO 6 - Conclusão .....	98
BIBLIOGRAFIA .....	103
ANEXO I - Aplicação - Gráficos de carga e carga acumulada após a alocação de tarefas ..	106
ANEXO II - Aplicação - Gráficos de carga e carga acumulada após o balanceamento .....	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis de planejamento .....	7
Figura 2 - Níveis hierárquicos de controle .....	7
Figura 3 - Ciclo fechado do MRP .....	12
Figura 4 - Módulos do sistema COPICS .....	14
Figura 5 - Planejamento de produção com o MRP-COPICS .....	17
Figura 6 - Horizonte de planejamento no MRPII .....	21
Figura 7 - Aplicações do computador em fábricas .....	26
Figura 8 - Gerenciamento de produção a partir do CIM .....	26
Figura 9 - Controle de atividades de produção e o "chão de fábrica" .....	27
Figura 10 - Diminuição do tempo médio de processamento ( <i>lead time</i> ) com o balanceamento de carga no sistema .....	31
Figura 11 - Aumento de produtividade com o balanceamento de carga no sistema .....	31
Figura 12 - Conceito de balanceamento de carga .....	32
Figura 13 - Rejeição vs. tempo médio de processo .....	34
Figura 14 - Rejeição vs. atraso médio .....	34
Figura 15 - Percentagem de trabalhos atrasados .....	34
Figura 16 - Sistema de planejamento de produção .....	43
Figura 17 - Estrutura de dados de capacidade do sistema MRPII .....	44
Figura 18 - Modelo de disponibilidade de fábrica .....	45
Figura 19 - Modelo de disponibilidade da estação de trabalho .....	46
Figura 20 - Sistema de codificação para determinar seqüência de operações .....	49
Figura 21 - Sistema de codificação alternativo .....	49
Figura 22 - Tempo de processamento na estação de trabalho e tempo de demanda de recurso .....	50
Figura 23 - Modelo de estrutura de produto .....	51
Figura 24 - Geração do modelo de demanda .....	52
Figura 25 - Modelo de demanda .....	53
Figura 26 - Sistema misto de representação .....	54
Figura 27 - Tempos do produto na estação de trabalho .....	55
Figura 28 - Lógica do sistema de planejamento de produção .....	56
Figura 29 - Matriz de disponibilidade de recursos .....	57
Figura 30 - Demanda e disponibilidade acumulada de recurso no tempo .....	58
Figura 31 - Lógica de alocação de tarefas no "chão de fábrica" .....	59
Figura 32 - Gráfico de carga acumulada para duas estações de trabalho .....	61

Figura 33 - Geração dos diagramas de Gantt para as operações .....	63
Figura 34 - Seqüência para alocação de datas de processamento nas operações .....	64
Figura 35 - Nível de carga em estação de trabalho .....	65
Figura 36 - Sistema para balanceamento de carga no "chão de fábrica" .....	65
Figura 37 - Nível de carga acumulada para uma estação de trabalho .....	66
Figura 38 - Seqüenciamento em estações de trabalho críticas .....	67
Figura 39 - Lógica de balanceamento de carga em estações de trabalho .....	68
Figura 40 - Estação de trabalho sem possibilidade de evitar atraso de operações .....	69
Figura 41 - Atraso de operações em estações sobrecarregadas .....	69
Figura 42 - Estruturas de produto processadas no sistema .....	72
Figura 43 - Diagrama de Gantt para a ordem número 4 .....	74
Figura 44 - Diagrama de Gantt para a ordem número 6 .....	74
Figura 45 - Estado de carga inicial na estação EST 2 - Recurso MB .....	75
Figura 46 - Gráfico de carga acumulada da estação EST 2 - Recurso MB .....	75
Figura 47 - Programação inicial da estação de trabalho EST 1 .....	77
Figura 48 - Programação da estação de trabalho EST1 .....	77
Figura 49 - Programação inicial da estação de trabalho EST 2 .....	78
Figura 50 - Programação da estação de trabalho EST 2 .....	79
Figura 51 - Programação inicial da estação de trabalho EST 4 .....	79
Figura 52 - Programação da estação de trabalho EST4 .....	80
Figura 53 - Programação inicial da estação de trabalho EST 5 .....	81
Figura 54 - Programação da estação de trabalho EST5 .....	81
Figura 55 - Programação inicial da estação de trabalho EST 6 .....	82
Figura 56 - Programação da estação de trabalho EST6 .....	82
Figura 57 - Modificação na programação da estação de trabalho EST 5 .....	83
Figura 58 - Modificação na programação da estação de trabalho EST 2 .....	83
Figura 59 - Programação da estação de trabalho EST 3 - Recurso MC .....	84
Figura 60 - Programação da estação de trabalho EST 8.....	85
Figura 61 - Programação da estação de trabalho EST 7.....	85
Figura 62 - Programação da estação de trabalho EST 3 - Recurso MA .....	86
Figura 63 - Programação da estação de trabalho EST 3 - Recurso MB .....	86
Figura 64 - Estado de carga após do balanceamento na estação EST 2 .....	87
Figura 65 - Gráfico de carga acumulada após balanceamento da estação EST 2 .....	87
Figura 66 - Atraso de operação da ordem 7 na estação de trabalho EST 2 .....	88
Figura 67 - Atraso operações das ordens 6, 4 e 7 na estação de trabalho EST 5 .....	89
Figura 68 - Atraso operações das ordens 6, 4 e 2 na estação de trabalho EST 6 .....	89
Figura 69 - Estado de carga após manutenção na estação EST 5 .....	93

Figura 70 - Gráfico de carga acumulada devido a quebra na estação EST 5 .....	93
Figura 71 - Modificação na programação da estação EST 5 devido a quebra de maquina .	94
Figura 72 - Modificação na programação da estação EST 6 devido a quebra de maquina .	95
Figura 73 - Gráfico de carga acumulada com inserção da ordem 11 na EST 7 .....	96
Figura 74 - Gráfico de carga acumulada com inserção da ordem 11 na EST 4 .....	96
Figura 75 - Gráfico de carga acumulada com inserção da ordem 11 na EST 3 - Rec. MC	96
Figura 76 - Gráfico de carga acumulada com inserção da ordem 11 na EST 5 .....	97
Figura 77 - Melhora do <i>lead time</i> com antecipação de datas de entrega .....	100
Figura 78 - Diminuição da capacidade de planejamento .....	101
Figura 79 - Tempo adicional de operação entre duas operações .....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Disponibilidade diária de recursos (exemplo) .....	47
Tabela 2 - Exemplo de alocação de máquinas segundo demanda de recurso .....	61
Tabela 3 - Divisão do "chão de fábrica" da fundição .....	70
Tabela 4 - Recursos considerados na fundição .....	70
Tabela 5 - Quantidade de máquinas por tipo de recurso em cada estação de trabalho ..	71
Tabela 6 - Disponibilidade de recursos em cada estação de trabalho .....	71
Tabela 7 - Demanda de tempo de recurso das ordens de trabalho carregadas no sistema	72
Tabela 8 - Cronograma de processo da ordem 4 .....	73
Tabela 9 - Cronograma de processo da ordem 6 .....	74
Tabela 10 - Parâmetros máximos de carga nas estações de trabalho .....	76
Tabela 11 - Estado inicial de carga na estação EST 1 - Recurso MA .....	76
Tabela 12 - Seqüenciamento de operações na estação EST 1 - Recurso MA .....	77
Tabela 13 - Estado inicial de carga na estação EST 2 - Recurso MB .....	78
Tabela 14 - Seqüenciamento de operações na estação EST 2 - Recurso MB .....	78
Tabela 15 - Estado inicial de carga na estação EST 4 - Recurso LFL .....	79
Tabela 16 - Seqüenciamento de operações na estação EST 4 - Recurso LFL .....	80
Tabela 17 - Estado inicial de carga na estação EST 5 - Recurso LFP .....	81
Tabela 18 - Seqüenciamento de operações na estação EST 5 - Recurso LFP .....	81
Tabela 19 - Estado inicial de carga na estação EST 6 - Recurso FTT .....	82
Tabela 20 - Seqüenciamento de operações na estação EST 6 - Recurso FTT .....	82
Tabela 21 - Modificações estação EST 5 devido ao seqüenciamento em EST6 .....	83
Tabela 22 - Modificações estação EST 2 devido ao seqüenciamento em EST 6 .....	83
Tabela 23 - Estado inicial de carga na estação EST 3 - Recurso MC .....	84
Tabela 24 - Seqüenciamento de operações na estação EST 3 - Recurso MC .....	84
Tabela 25 - Estado inicial de carga na estação EST 8 - Recurso API .....	84
Tabela 26 - Seqüenciamento de operações na estação EST 8 - Recurso API .....	84
Tabela 27 - Estado inicial de carga na estação EST 7- Recurso AOL .....	85
Tabela 28 - Seqüenciamento de operações na estação EST 7 - Recurso AOL .....	85
Tabela 29 - Estado inicial de carga e seqüenciamento estação EST 3 - Recurso MA .....	85
Tabela 30 - Estado inicial de carga na estação EST 3 - Recurso MB .....	86
Tabela 31 - Seqüenciamento de operações na estação EST 3 - Recurso MB .....	86
Tabela 32 - Modificações na estação EST 2 devido ao atraso da ordem 6 .....	88
Tabela 33 - Modificações na estação EST 5 devido ao atraso da ordem 6 .....	88
Tabela 34 - Modificações na estação EST 6 devido ao atraso da ordem 6 .....	88

Tabela 35 - Comparação de tempos médios de processamento .....	91
Tabela 36 - Comparação de atrasos (-) e antecipações (+) na finalização de ordens de trabalho .....	92
Tabela 37 - Modificações na estação EST 5 devido a quebra de máquina .....	94
Tabela 38 - Modificações na estação EST 6 devido ao atraso na estação LFP .....	94
Tabela 39 - Demanda de tempo de recurso da ordem 11 carregada no sistema .....	95
Tabela 40 - Demanda de tempo de recurso da ordem 11 carregada no sistema .....	97

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta sobre a lógica de uma ferramenta computacional cuja função é auxiliar o planejamento de produção a nível de "chão de fábrica". O sistema é desenvolvido utilizando-se a estrutura de produto do MRPII, alguns critérios de limitação e balanceamento de carga para lotação de tempo de máquina e algumas regras de seqüenciamento para a definição da ordem de processamento em cada estação de trabalho.

O sistema proposto é aplicável em casos de lotação de trabalho a partir de carga inicial nula ou para modificações no planejamento em casos onde exista uma carga inicial estabelecida como é o caso de sistemas produtivos que trabalham de maneira contínua. A ferramenta visa estar de acordo com a filosofia *just in time*, tendo como objetivo obter valores eficientes para os tempos médios de processamento e minimizar atrasos.

A lógica do sistema é demonstrada numa aplicação em um ambiente de produção com amplo *mix* de produtos que trabalha como *flow shop*.

## ABSTRACT

This work presents a software tool logic proposal which helps in production planning at factory floor level. The system was developed using the MRPII product structure, restriction and balance criterion for machine load and some scheduling rules to define the processing order at each work station.

The proposed system is applicable in cases of scheduling from initial void load or to re-scheduling when there is an initial load how is the case of producing systems which work continuously. These tool aims to be in accordance with the just in time philosophy, considering the objectives of obtaining efficient values for mean lead time and to minimize delays.

The logic of this system, is demonstrate in one application at a production environment which works as a flow shop with numerous mix of products.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Um dos maiores obstáculos ao aumento da produtividade na indústria é a inabilidade de gerenciar ou controlar eficientemente a produção. A complexidade da construção e manutenção de um bom programa de produção, tem impedido a melhoria do desempenho das fábricas.

As tarefas de uma área de Programação e Controle de Produção (PCP) estão vinculadas ao gerenciamento de recursos. Este gerenciamento a nível do "chão de fábrica" significa utilizar de maneira eficiente o que em muitas empresas é nomeado como os três M (Mão-de-obra, Máquina e Matéria-prima). O PCP é, então, uma área importante na implementação de estratégias de otimização de recursos e tempos.

Nas empresas podem apresentar-se diferentes tipos de problemas com respeito ao PCP. Pode acontecer que, numa empresa mono-produtora, não se tenha um fluxo de ordens de pedido constante ou em outros casos pode ser que a empresa produza muitos tipos de produtos para os quais não exista uma previsão de demanda muito bem estabelecida. Isto significa que a empresa distribui os seus recursos produtivos segundo as ordens de trabalho que são recebidas. Este quadro torna-se mais complexo quando existem diferentes alternativas para produção e limitações de capacidade em estações de trabalho.

No PCP, os recursos que se tem para obter programações de produção em tempo real são valiosos. Esta área possui um intercâmbio de informações com o "chão de fábrica", e são necessárias ferramentas de processamento de dados para ajudar as áreas de

planejamento a conseguir programações e mudanças do programa mestre de produção de forma rápida e eficiente.

Entre essas ferramentas estão os sistemas de controle que, além de serem complexos, têm a desvantagem de não levar em conta as atividades de agregação de valor. No chão de fábrica existem sistemas CAD/CAM, CAPP, MRP e MRPII ligados a redes computacionais *on line* que são sistemas muito grandes e demandam considerável tempo computacional. Estes sistemas são projetados geralmente para trabalhar com uma perspectiva de tempo<sup>1</sup> relativamente longa.

Na realidade, numa fábrica, muitos programas de produção são alterados constantemente, tanto por motivos externos quanto internos. Os motivos internos podem ser: quebra de uma máquina, erros operacionais, falta imprevista de mão-de-obra ou matéria prima, entre outros. Motivos externos podem ser: ingresso de ordens prioritárias de trabalho no momento em que o programa de produção está sendo executado, falha de algum fornecedor de matéria prima, etc. É devido a este tipo de motivos que se justifica a utilização de ferramentas que ajudam a obter programas de produção de forma eficiente e rápida.

As atividades de programação do "chão de fábrica" visam alocar tarefas a recursos de produção e determinar a seqüência das tarefas a serem executadas. Estas atividades podem ser executadas primeiro alocando recursos e posteriormente definindo o seqüenciamento ou ambas as tarefas podem ser efetuadas simultaneamente.

Portanto, o objetivo deste trabalho é estudar tipos de ferramentas computacionais que estão sendo utilizadas no campo do PCP e propor a estrutura de uma ferramenta que servirá para as atividades de alocação de recursos operacionais do "chão de fábrica" no tempo. Essa ferramenta é orientada segundo os princípios do *just in time* e utiliza modelos de estrutura de produto similares aos empregados no MRPII.

O sistema ajuda, principalmente, na alocação de recursos (máquinas) a ordens de produção no tempo. Com o auxílio do sistema é possível a visualização de características tais

---

<sup>1</sup>Entendendo-se perspectiva de tempo como o tempo em que um programa de produção permanecerá inalterável assumindo que as premissas consideradas no momento de realizar o programa não mudam.

como balanço de fábrica, recursos sem utilização e gargalos de produção. O sistema tem também a característica de ser aberto para introduzir regras que facilitem as tarefas de programação e reprogramação de recursos de fábrica.

A característica de facilitar a reprogramação existe porque o sistema permite ser alimentado com dados de produção com a finalidade de ajustar somente partes afetadas dos programas de produção a nível do "chão de fábrica". Dessa maneira trabalha-se com o sistema carregado ou com ordens de produção em processo. Quando se faz uma programação parte-se de um sistema que inicialmente não tem nenhuma ordem de produção em processo.

O sistema proposto é aplicável a casos de produção em linha, onde se tem situações de produção intermitente. Neste tipo de situação, os equipamentos executam no máximo uma tarefa de cada ordem de produção e existe um fluxo de movimentação de materiais em processo para fabricar cada variedade de produtos em quantidades fixas, definidas como *batch*.

Embora exista flexibilidade para o processamento de diferentes produtos em postos operativos ou equipamentos, existem certas restrições onde os postos operativos têm condições de executar um limitado número de operações. Estas restrições serão dadas por regras heurísticas que visam aumentar a performance de sistemas fabris.

Sendo esta a primeira parte do trabalho, os demais capítulos são estruturados segundo o descrito a continuação.

O capítulo 2 consistirá na alocação e classificação do problema de programação de produção dentro do planejamento de produção da empresa. Será abordado o MRPII, uma vez que este sistema é o que pode representar o estado de arte dos sistemas que de alguma maneira oferecem auxílio na programação do "chão de fábrica". Neste capítulo, será também analisado um sistema MRPII desenvolvido pela IBM: o COPICS.

O capítulo 3 abordará o conceito do CIM (*Computer Aided Manufacturing*), alguns critérios para alocação de tarefas às máquinas, regras para seqüenciamento de tarefas em máquinas e finalmente serão vistos alguns conceitos sobre índices de performance do "chão de

fábrica". O conteúdo deste capítulo pode ser considerado como os critérios necessário para desenvolver sistemas de apoio no planejamento do "chão de fábrica".

Já no capítulo 4, serão apresentados os modelos de capacidade e produto com os quais a ferramenta de auxílio no planejamento de produção trabalhará. Também serão analisadas as diferenças e semelhanças dos modelos utilizados no sistema com os modelos utilizados nos sistemas MRPII.

O capítulo 5 apresentará detalhadamente a estrutura do sistema de planejamento de produção com os critérios correspondentes para a formulação dos modelos gráficos de carga e planejamento de datas de processamento de tarefas num sistema produtivo. Será analisado o modo como o sistema trabalha com os modelos apresentados no quarto capítulo para obter soluções no planejamento de produção, utilizando os critérios analisados no terceiro capítulo. Também serão apresentadas algumas aplicações práticas do modelo para planejamento de produção em um sistema que trabalha como *flow shop*.

Finalmente serão feitas as conclusões e recomendações que se inferem deste trabalho, e que fazem parte do capítulo 6.

## CAPÍTULO 2

### PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO NO AMBIENTE MRPII

Para expor o problema que se aborda neste trabalho, nesta segunda parte é tratado o Planejamento de produção dentro do ambiente MRPII que, como tecnologia de administração de produção, oferece grande variedade de *softwares* que de alguma forma auxiliam as atividades de planejamento do "chão de fábrica". Também, devido a este motivo, é que nesta parte além de definir o planejamento e controle de produção (PCP), aborda-se o MRPII como ferramenta de planejamento ao nível do "chão de fábrica". Para isto foi analisado um sistema de MRPII disponível e utilizado por algumas empresas.

A lógica deste segundo capítulo é definir o Planejamento ou Programação e Controle de Produção e alocar o PCP dentro dos níveis de planejamento. Posteriormente serão tratados alguns conceitos do MRPII onde será exposto o funcionamento do sistema COPICS da IBM e finalmente serão descritas as limitações destes tipos de sistemas para o PCP.

#### 2.1. PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DE PRODUÇÃO<sup>2</sup>

A programação de produção tem a função de alocar eficientemente recursos no tempo para manufatura de bens. Bensana, Bell e Dubois definem a tarefa como: "Dado um conjunto de equipamentos e restrições tecnológicas e dadas as necessidades de produção em

---

<sup>2</sup>Embora Planejamento e Programação de Produção são algumas vezes conceitos diferenciados por alguns autores que definem a Programação de Produção como um planejamento a curto prazo, neste trabalho se utiliza o conceito de Planejamento e Programação indistintamente para definir esse planejamento a curto prazo.

termos de quantidade e qualidade do produto e restrições de tempo, encontrar uma seqüência viável de operações nos vários equipamentos que satisfaçam as necessidades de produção" [BEN88].

Para Graves [GRA81] a programação de produção é definida como a "alocação no tempo dos recursos de produção disponíveis, visando satisfazer da melhor forma possível um dado conjunto de critérios".

A programação, geralmente, se refere a um período de tempo e tem como propósitos básicos adequar o processo de produção para atender a demanda do mercado, coordenar as operações internas à empresa bem como as que dependem de fornecedores e estimular o aperfeiçoamento de tais operações.[HAL88]

## 2.2. NÍVEIS DE PLANEJAMENTO

No topo dos níveis de planejamento estão o planejamento estratégico e o planejamento de produção. Estes dois tipos de planejamento estabelecem as metas da empresa num prazo relativamente longo. Os níveis de planejamento que determinam as atividades da empresa em prazos mais curtos são basicamente os que são objeto de trabalho da área de planejamento e controle de produção.

Burbidge [BUR81] destaca três níveis de programação e controle de produção (ver figura 1):

- no nível de planejamento de produção: é elaborado o Plano Mestre de Produção que recebe informações de vendas, previsão de vendas, estratégia de marketing etc. e tem como saída um plano com os volumes de produtos acabados a serem produzidos a cada período;
- no nível de emissão de ordens: são planejadas as entradas de materiais de fornecedores e os volumes de produção de peças de cada setor produtivo. São expedidas ordens de fabricação e requisições de compra de material, indicando peça, quantidade e data prevista para estar disponível para montagem. Este plano é feito por um sistema do tipo MRP (Planejamento de Necessidades de Materiais);

- no nível de liberação: é feito o seqüenciamento nas máquinas ou centros de trabalho e, em alguns casos, o planejamento de datas de início e término de operações. Um programa de carga define o volume de produção por máquina para atender as datas previstas. A programação neste nível é coerente com a definição dada pela pesquisa operacional que considera os níveis anteriores como planejamento.



Fig. 1 - Níveis de Planejamento. [TER85]

Nos sistemas flexíveis de manufatura (FMS) onde o sistema tem que responder rapidamente à demanda do cliente, o enfoque não é diferente. No sistema flexível de manufatura são considerados quatro níveis hierárquicos de controle (figura 2).

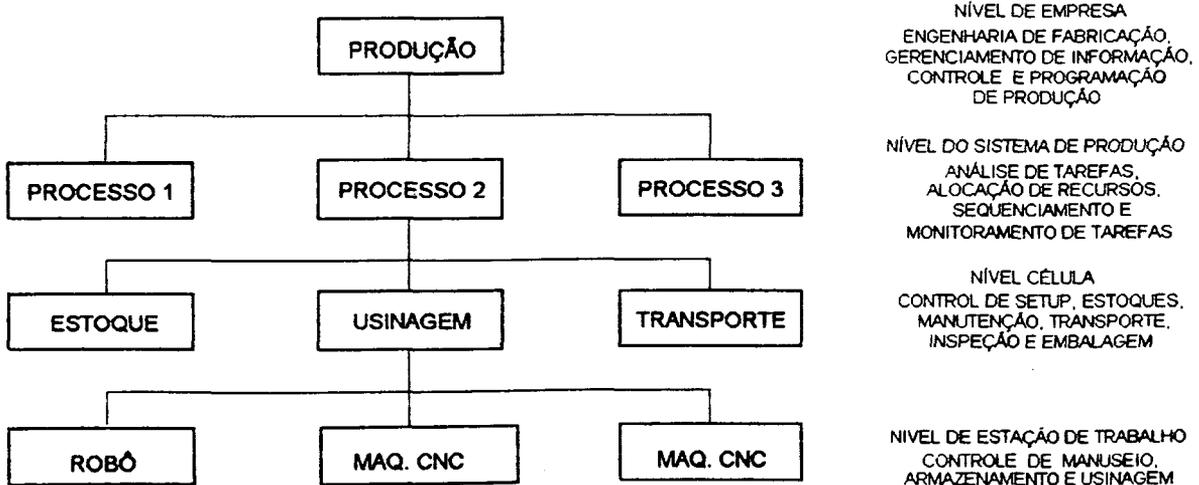


Fig. 2 - Níveis hierárquicos de controle. [BUR88]

Nesse caso, uma área do PCP atinge até o segundo nível hierárquico de controle, pois o terceiro e quarto níveis podem ser já considerados como níveis de controle no "chão de fábrica".

### 2.3. CLASSIFICAÇÃO DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO

As classificações são feitas com o objetivo de delinear as características de cada ambiente produtivo, suas restrições e objetivos. Graves[GRA81] propõe três critérios para classificar o problema de programação de produção:

- geração de pedidos;
- complexidade do processo produtivo e
- critério de programação.

Além destas três classificações existem outras dimensões de classificação que serão descritas nos próximos itens.

#### 2.3.1. CLASSIFICAÇÃO POR GERAÇÃO DE PEDIDOS

Quanto à geração de pedidos, o sistema pode ser um *open shop* quando os pedidos a serem programados são gerados diretamente por ordens de compra de clientes; ou um *closed shop* quando o pedido tem origem numa decisão de substituição de estoques vendidos.

O sistema fechado ou *closed shop* é um sistema de produção que basicamente trabalha para estoque e funciona bem quando existem demandas estáveis e/ou *buffers* de armazenamento que permitem amortecer variações que se apresentam na demanda.

O sistema aberto é um ambiente que deve responder rapidamente a solicitações externas. Este tipo de sistema precisa filosofias de administração como *just in time*, e sistemas de administração eficientes que permitem maior rapidez de resposta a variações de demanda

num ambiente produtivo. Além disso, a infra-estrutura de fábrica deve contar com certo grau de flexibilidade para suportar mudanças da demanda.

### 2.3.2. CLASSIFICAÇÃO POR COMPLEXIDADE DO PROCESSO PRODUTIVO

O critério relativo à complexidade do processo produtivo refere-se ao número de etapas de processamento associadas a cada item ou tarefa. São quatro os casos:

- um estágio e um processador - onde as tarefas são realizadas num mesmo processador e completadas em uma operação;
- um estágio e processadores paralelos - similar ao caso anterior, onde cada tarefa é completada em uma operação e pode ser executada em qualquer dos equipamentos disponíveis;
- múltiplos estágios ou *flow shop* - cada tarefa pode ser executada num mesmo conjunto de equipamentos, com idêntica ordem de precedência das etapas de processamento. Este é o caso típico da linha de montagem ou produção em linha;
- múltiplos estágios, *job-shop* - é o tipo de problema mais geral. Não existe caminho obrigatório nas etapas de processamento de um item e rotas alternativas são permitidas. Em geral *job-shop* refere-se a um número grande de tarefas com roteiros diversos utilizando um conjunto de máquinas comuns.

Embora os dois primeiros casos sejam assunto constante de artigos de pesquisa operacional, dificilmente serão observados num ambiente real de manufatura.

### 2.3.3. CLASSIFICAÇÃO POR CRITÉRIO DE PROGRAMAÇÃO

Quanto ao critério de programação, distinguem-se como parâmetros de avaliação:

- custo - onde se associa a um programa de produção os custos relacionados: custos de *set-up*, excesso, falta de estoques etc. além do próprio custo de geração e monitoramento do programa de produção;

- desempenho - que pode ser medido através do nível de utilização de recursos de produção, da percentagem de tarefas atrasadas, do tempo médio de processamento das tarefas, etc.

Na maioria dos ambientes de fabricação são considerados ambos os critérios. Entretanto, a literatura de *open shop* trata principalmente do critério de desempenho e a de *closed shop* concentra-se no critério de custo.

#### 2.3.4. OUTRAS CLASSIFICAÇÕES

Graves propõe ainda outras duas dimensões de classificação [GRAV81]:

- natureza da especificação do pedido - onde os tempos de processamento de cada tarefa podem ser determinísticos ou estocásticos;
- ambiente de programação - que é estático, quando os pedidos de produção são conhecidos e não sofrem mudança; ou dinâmico quando os pedidos de produção sofrem mudanças e a programação deve contar com estas possíveis mudanças.

Uma forma de classificação bastante prática para estabelecer uma nomenclatura é proposta por Conway [CON67] que descreve os problemas de programação de produção por quatro tipos de informações:

- as tarefas e operações a serem processadas;
- o número e tipo de máquinas que compõem a fábrica;
- restrições da maneira como fazer as atribuições;
- critérios sob os quais um programa será avaliado.

Assim um problema de programação pode estar representado por  $n/m/f/g$ , onde:

$n$  representa o número de tarefas que chegam simultaneamente em ambientes estáticos ou a distribuição de probabilidade dos tempos entre chegada de tarefas para ambientes dinâmicos;

$m$  representa o número de tipo de máquinas;

- f* representa o tipo de fluxo de produtos dentro da fábrica; *F (flow shop)* ou *J (Job Shop)*;
- g* descreve o critério sob o qual o programa será avaliado; *Fmax* (se se requer fluxo máximo);  
*Cmin* (se o mais importante é conseguir o custo mínimo).

#### **2.4. PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE PRODUÇÃO - MRPII**

Planejamento de requerimento de materiais, *MRP (Materials Requirement Planning)*, é uma tecnologia de administração de produção que foi inicialmente utilizada nos Estados Unidos nos anos 60. Basicamente esta foi uma técnica desenvolvida para planejar a aquisição de materiais de produção com auxílio do computador.

Este sistema foi construído em função do processamento de listas de materiais que convertem um plano de produção discreto num plano de fabricação e/ou compra de componentes. Isto é feito explodindo requerimentos a partir do nível mais alto do produto. Esta explosão de requerimentos é feita com a lista de materiais.

Com o transcorrer do tempo houve maiores recursos na área da informática com os quais foi possível adicionar algumas funções suplementares ao *software MRP* tais como:

- *MPS (Master Production Scheduling)* que é o planejamento no tempo de tarefas de produção, utilizando recursos como o PERT;
- *PAC (Production Activities Control)* ou controle de atividades de produção que é o sistema de re-alimentação do MRPII;
- *CRP (Capacity Resources Planning)*, o planejamento de capacidade produtiva, atividade envolvida completamente com o gerenciamento das capacidades finitas das máquinas ou estações de trabalho;
- *MRP* que é o sistema de compras de materiais.

A combinação dos módulos de planejamento *MPS*, *MRP* e *CRP* e *PAC* foi denominada de ciclo fechado do *MRP*, conforme mostra a figura 3. Com a aquisição de alguns

módulos financeiros e maior desenvolvimento de partes, o MRP passou a ser denominado como MRPII o Planejamento de Recursos de Produção a partir dos anos 80.

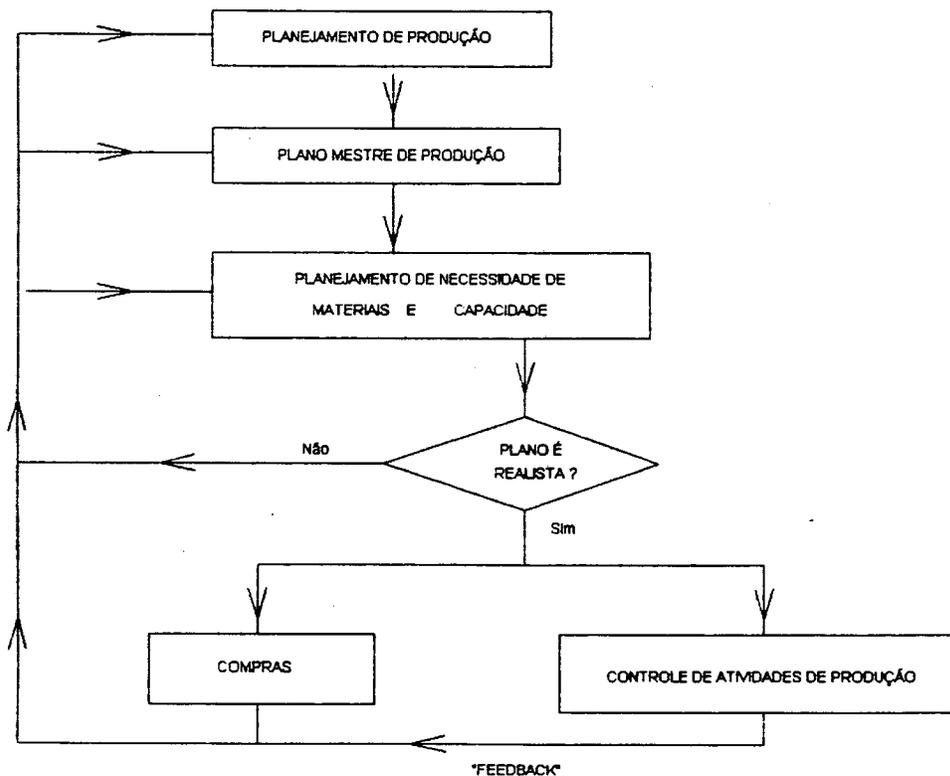


Fig. 3 - Ciclo fechado do MRP. [BRO88]

## 2.5. MRPII E OUTRAS TECNOLOGIAS DE ADMINISTRAÇÃO DE PRODUÇÃO

A manufatura moderna está sujeita a grandes mudanças, a exigências de clientes, a demandas variadas, a curto tempo de planejamento e ciclo de vida de produto, além de curto tempo de fabricação e de prazos de expedição.

Devido a estes fatores, é necessário reconhecer as limitações do MRPII e analisar como outras tecnologias como *Just in Time* e OPT (Tecnologia de Otimização de Produção) fornecem soluções às limitações do MRPII.

O MRPII é uma tecnologia que utiliza o computador e bases de dados de manufatura com os quais os esforços de planejamento são melhor coordenados além de

oferecer grandes volumes de informação que são compartilhados pelas diferentes áreas de uma empresa.

Embora o MRPII ofereça estas facilidades, as decisões de seqüenciamento estão por conta do planejador, que também gerencia as decisões de capacidade. De fato, o MRPII cresceu demais e normalmente os módulos de controle e decisão a nível do "chão de fábrica" não são viáveis para ambientes CIM.

O MRPII e o OPT são tecnologias associadas a sistemas de produção por lotes, ambas estão projetadas para gerenciar um grande número de produtos, enquanto o *Just in Time* (JIT) é aplicável à produção em grandes volumes e sistemas repetitivos [BRO88]. Utilizando o *KANBAN* como sistema de controle no "chão de fábrica", o JIT tem a qualidade de responder rapidamente às necessidades do consumidor, enquanto que o tempo de resposta do MRPII é maior porque normalmente os horizontes de planejamento neste sistema são mais longos.

Existe, então, interesse em integrar o MRPII ao médio CIM, adequar-se a filosofias JIT e técnicas empresariais como OPT. Parte dessa integração é denominada normalmente como sistema CAPP (*Computer Aided Process Planning*) ou Planejamento de Processo Auxiliado por Computador.

## 2.6. ANÁLISE DE UM SISTEMA MRPII - O COPICS DA IBM

A IBM tem desenvolvido um sistema que atende aos requisitos do MRPII. O sistema, denominado COPICS (*Communications Oriented Production Information and Control System*) ou Sistema de Gerenciamento de Informações e Controle de produção, Orientado para Comunicações, é um conjunto de programas desenvolvidos com a finalidade de auxiliar as empresas na implantação do MRPII.

O COPICS é dividido em diferentes módulos como é mostrado na figura 4. Para fins de descrição, eles estão agrupados em módulos de administração, módulos de engenharia de produto e fabricação e os módulos de planejamento e controle de produção. Todos esses módulos serão necessários para a geração dos programas-mestre de produção de uma fábrica.

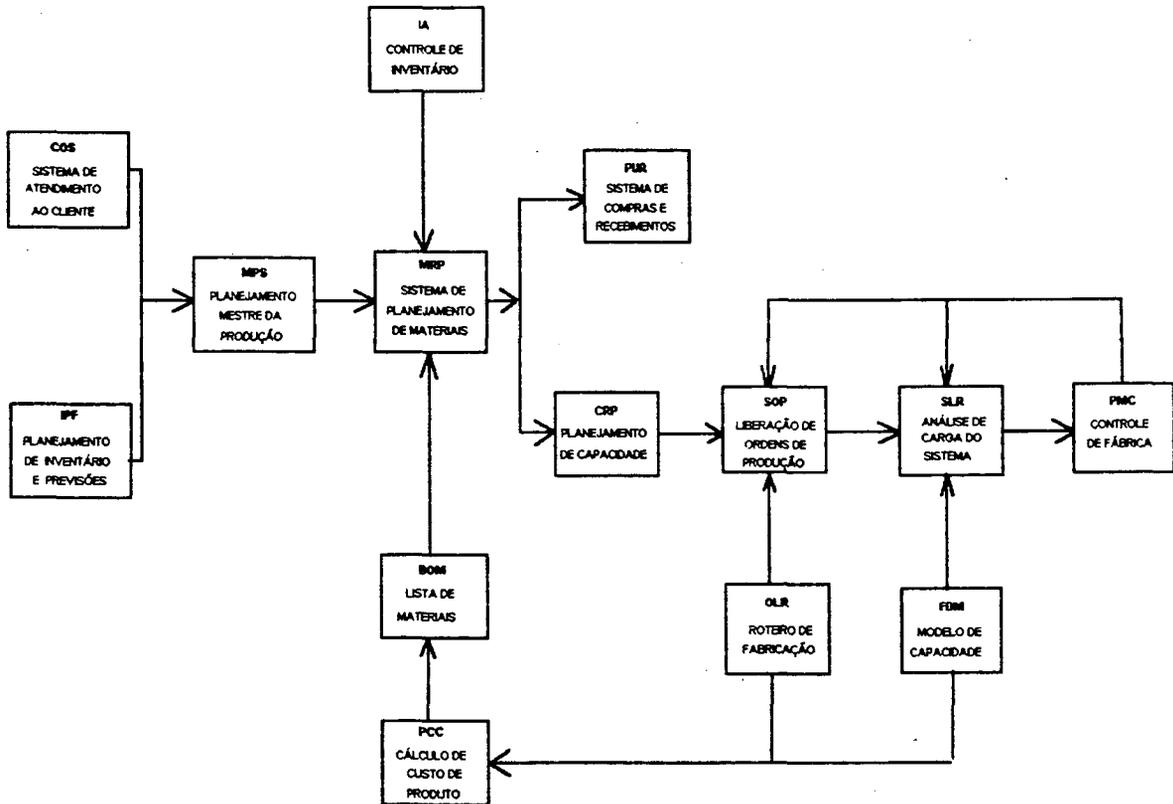


Fig. 4 - Módulos do sistema COPICS. [IWA87]

### 2.6.1. MÓDULOS DE ADMINISTRAÇÃO DO COPICS

O sistema COPICS tem módulos que envolvem diferentes áreas de uma empresa, são eles:

- sistema de atendimento de pedidos, ou sistema COS (*Customer Order Servicing*), que processa informações como entrada e alteração de pedidos de clientes, consultas de preços, planejamento de roteiros de embarque. A característica desta função, de ser rapidamente processada e com exatidão, é indispensável porque as empresas são julgadas não só pelo desempenho, qualidade e preço dos seus produtos mas também pelo bom tratamento dispensado aos clientes e a seus pedidos;
- previsão da demanda e planejamento de inventário ou sistema IPF (*Inventory Planning and Forecasting*), que possui funções de gerenciamento básico de estoque para produtos acabados, estoque de peças de manutenção e reposição. Este programa faz estimativas de itens com base nas demandas anteriores;

- controle de estoque ou sistema IA (*Inventory Accounting*), que indica as quantidades disponíveis de cada produto em cada ponto de estocagem. Por isso os registros de movimentação ocorrem em tempo real, isto é, qualquer consulta reflete a situação real e não uma posição do passado;
- sistemas de compras e recebimentos ou sistemas PUR e REC (*Purchasing and Receiving*), que ajudam a garantir que os materiais estejam disponíveis na quantidade e na qualidade na data certa. O sistema oferece um auxílio na administração, no gerenciamento da documentação de pedidos e no seguimento deles;
- sistema de cálculo de custos do produto ou sistema PCC (*Product Cost Calculation*), que auxilia as gerências financeiras a obter informações chaves sobre o custo do produto. Este cálculo é feito utilizando-se os dados de engenharia de produto e fabricação. Esta é uma ferramenta poderosa pela capacidade de simulação que oferece. Através dela, podem ser analisadas alterações de custo devido a mudanças de materiais e processos de fabricação de determinado item.

#### 2.6.2. MÓDULOS DE ENGENHARIA DE PRODUTO E FABRICAÇÃO

Neste grupo estão os sistemas de controle de Dados de Engenharia e Fabricação, os quais constituem um grupo de subsistemas que controlam a criação, organização e manutenção das bases de dados referentes a engenharia e são utilizadas pelos outros sistemas. Neste grupo de dados estão:

- as listas de materiais gerenciadas pelo sistema BOM (*Bill of Materials*), que descreve os itens necessários em um produto ou sub-montagens;
- os roteiros de fabricação gerenciados pelo sistema OLR (*On Line Routing*), que indicam a seqüência de operações e respectivos tempos necessários para fazer um componente ou um subconjunto;
- os recursos de produção gerenciados pelo sistema FDM (*Facilities Data Management*), que descreve as máquinas, os postos de trabalho e ferramentas usadas nos processos de produção.

### 2.6.3. MÓDULOS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO

No auxílio das funções de planejamento e controle de produção estão os sistemas:

- MPSP (*Master Production Scheduling Planning*) ou Planejamento Mestre de Produção, que é o estabelecimento das necessidades futuras de um produto especificadas por data e quantidade. Este sistema trabalha segundo a demanda dos clientes e as políticas de administração de materiais. Segundo o MRP, o planejamento mestre deve agir como um amortecedor entre as variações de mercado e as necessidades da fábrica. Este sistema está integrado aos planos de vendas, de distribuição e financeiro;
- MRP (*Material Requirements Planning*) ou sistema de planejamento de materiais pelo qual é gerenciado o controle de estoque de produtos acabados, material em processamento e matéria-prima. Segundo este programa, a demanda dos itens produtivos é calculada com base no plano mestre de produção, através da explosão com base nas listas de materiais;
- CRP e SLR (*Capacity Requeriments Planning e Shop Order Load Analysis and Reporting*) são sistemas que auxiliam na verificação de capacidade para um plano gerado pelo MRP. O planejamento inicial de capacidade é feito no plano mestre, quando o plano de produção é confrontado com recursos críticos;
- SOR (*Shop Order Release*) ou sistema de liberação de ordens que auxilia no preparo da documentação de fábrica e na liberação e acompanhamento das ordens de fabricação;
- PMC (*Plant Monitoring and Control*) ou sistema de acompanhamento e controle de produção que é basicamente o sistema que re-alimenta o plano mestre de produção porque mesmo nos bons planejamentos acontecem interrupções imprevistas, quebra de máquinas e refugos que causam atrasos nas operações e tempos de espera adicionais nas estações de trabalho. Este sistema basicamente monitora o plano de produção e serve para reduzir o número de atrasos e tempos de espera através de um controle efetivo de re-alimentação dos dados de produção.

## 2.6.4. PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO NO MEIO COPICS

Num ambiente MRPII, onde o processamento de produto é feito por lotes (*batch*), a programação de produção acontece numa interrelação do programador com a área de vendas (figura 5). Esta relação pode ser feita mediante um sistema de comunicação *on line* ou mediante um programador de pedidos.

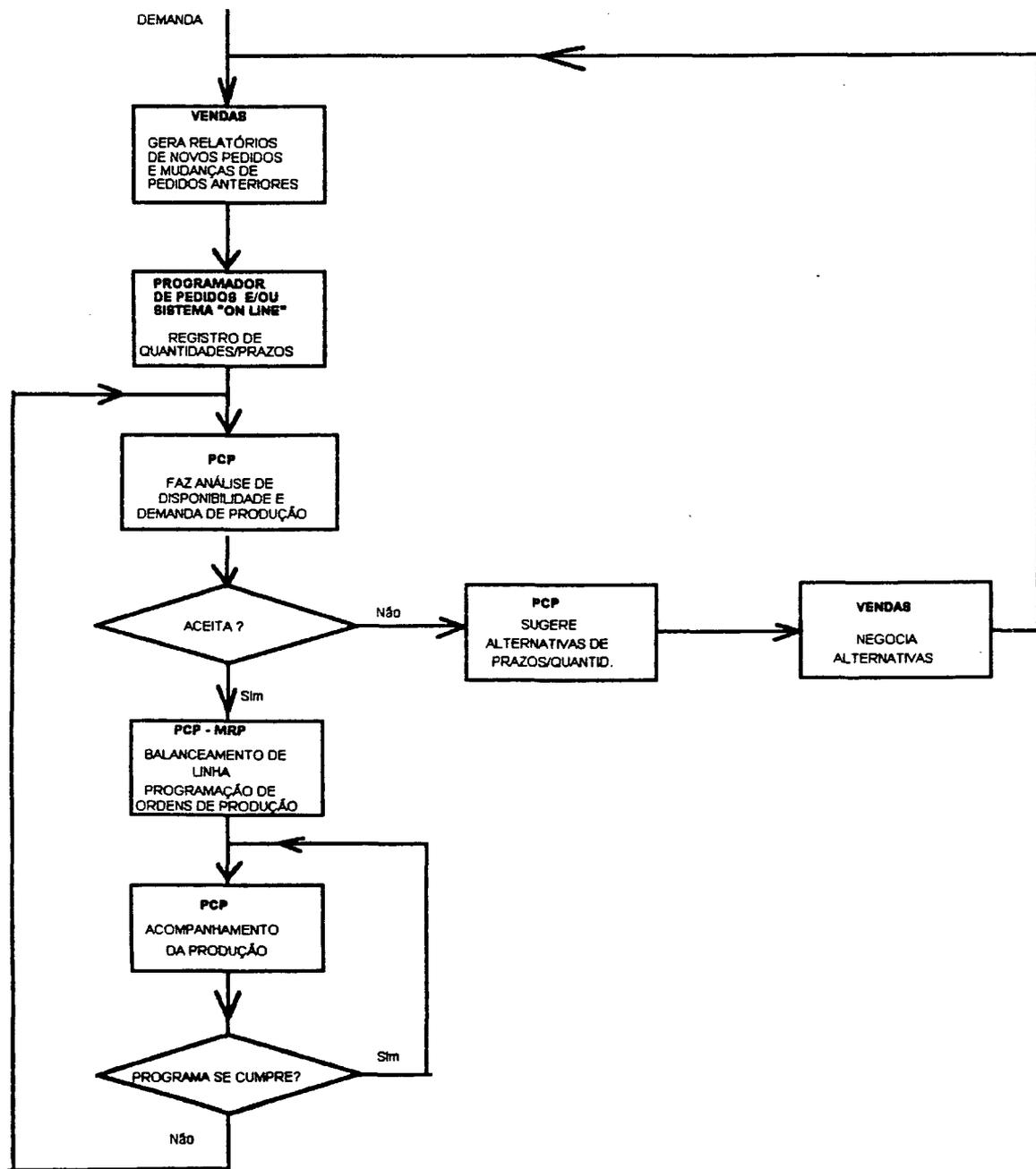


Fig. 5 - Planejamento de produção com o MRP-COPICS. [IWA87]

O departamento de vendas executa um relatório de mudanças de pedidos, quantidades e prazos e o programador de produção analisa se as mudanças ou variações solicitadas podem ser ou não executáveis pela fábrica.

Esta análise é feita basicamente segundo o ciclo fechado do MRPII:

- analisando disponibilidade de materiais;
- analisando capacidade de fábrica.

No caso de as mudanças não serem aceitas, são sugeridas novas datas de entrega para os pedidos. Uma vez que as novas datas são negociadas com os clientes, o MRP é executado para fornecer as ordens de fabricação e mudar o estado de matéria prima e produto em processo. A partir desse momento, a tarefa de programação se transforma em tarefa de controle por existir a necessidade de dar seguimento aos programas de produção gerados.

### 2.7. A PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO NO "CHÃO DE FÁBRICA"

Na prática, muitas empresas não chegam a preparar programas com seqüenciamento de operações, seja por decisão estratégica ou por não haver disponibilidade de um sistema de programação aliado a um sistema de informação eficiente. Geralmente, o seqüenciamento de operações é acertado no "chão de fábrica" e a programação de produção limita-se a alocar tarefas às máquinas, isso muitas vezes não é feito eficientemente.

Teoricamente, a programação de produção deve alocar tarefas às máquinas no tempo. Após a alocação de tarefas às máquinas, tem-se o problema de seqüenciamento que consiste em definir a ordem de processamento de tarefas em cada máquina. Quando se tem um sistema *KANBAN*, o problema de seqüenciamento pode ser resolvido de maneira simples, mas a implementação de um sistema de gerenciamento de produção como o *KANBAN* em infra-estruturas que trabalham com um *mix* de produtos muito grande pode apresentar dificuldades como a mudança do *layout* de fábrica e a implementação desta nova filosofia de produção em todos os níveis hierárquicos operacionais da empresa.

Algumas abordagens da pesquisa operacional tratam o problema de alocação e seqüenciamento simultaneamente<sup>3</sup>. Este tipo de abordagem que trabalha com funções objetivo e restrições de programação é muito extensa devido a quantidade de equações e variáveis. Um sistema desse tipo demanda muito tempo computacional para ser resolvido. Sendo assim, são utilizadas heurísticas para a simplificação de problemas muito complicados do ponto de vista computacional.

## 2.8. VANTAGENS DE UM BOM PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO

Quando não é feita uma boa programação da produção, ocorre o descumprimento de datas de entrega ou atrasos, tempos em processo longos, o que é sinônimo de aumento de estoque em processo. Além disso, muitas vezes, tem-se baixa utilização de máquinas críticas pelo fato de não ter sido feito uma boa programação nas estações alimentadoras.

Um das estratégias utilizadas por muitas empresas é o planejamento com base nas previsões. A previsão faz com que as empresas preparem com antecipação matéria-prima e recursos de produção. Erros em previsão conduzem ao excesso ou perda de materiais, trabalho em processamento e estoque de produtos acabados. Portanto torna-se importante a redução do ciclo de produção, que influi diminuindo o impacto de erros de previsão.

Entre os métodos para redução do ciclo de manufatura está a identificação de gargalos que controlam o tempo do ciclo. Uma vez identificadas estas estações de trabalho, opta-se por mudar o processo ou re-projetar as partes a fim de que seu processo seja menos complicado e assim reduzir o tempo de produção nos gargalos.

---

<sup>3</sup>Entre os trabalhos pioneiros da programação de produção no âmbito da pesquisa operacional, estão o algoritmo de Johnson (1954) que soluciona o problema de  $n$  ordens de trabalho em 2 processadores de um sistema que trabalha como *flow shop* visando a maximizar a utilização de recursos. Jackson (1955) e Smith (1956) proporcionaram muitas regras para problemas de um processador. Esses trabalhos constituíram a base da teoria clássica de programação da produção. Posteriormente foram utilizadas formulações de programação mista e inteira (Wagner 1959, Bowman 1959), programação dinâmica (Held e Karp 1962) e o método *branch and bound* (Ignall e Schrage 1965, Lommicki 1965).

O PCP tem os problemas de programar o "chão de fábrica" de maneira coerente para o cumprimento dos programas-mestre de produção sem atrasos, reagir a mudanças de necessidades de clientes a curto prazo e diminuir os tempos de processo identificando e gerenciando os gargalos de produção.

São então necessários sistemas de auxílio à programação de produção que tenham capacidade de trabalhar com os problemas de alocação e seqüenciamento de tarefas no "chão de fábrica" e tenham a característica de simplificar possibilidades a fim de conseguir soluções para os problemas de programação em tempo real.

## 2.9. LIMITAÇÕES DE SISTEMAS MRPII NA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO

Pelo fato do MRPII ser um sistema que gerencia grandes quantidades de dados, não é possível executar o sistema de maneira contínua. Poucas são as empresas que executam o MRP diariamente, a maioria delas limita-se a utilizar o sistema semanalmente e outras a utilizá-lo mensalmente. É devido a esse motivo que se utiliza o conceito de horizonte de planejamento que significa um número determinado de períodos considerados. O primeiro período deste horizonte de planejamento é denominado de período congelado onde o MRP não tem capacidade para alterar o programa. Este período pode ser, por exemplo, de uma semana se a empresa executa o MRP semanalmente. O tempo consecutivo a este período é denominado horizonte de nivelamento, onde o MRPII possibilita mudanças para cumprir com os requerimentos de produção estabelecidos pelo programa mestre (figura 6).

O período congelado é motivo para que o tempo de processo de algum produto seja acrescentado para o cliente em uma semana, por exemplo (se o período congelado for uma semana). Assim, se o tempo de processo em fábrica de algum lote de produtos é uma semana (*lead time*), o cliente deverá considerar que para ele, o tempo de entrega será duas semanas.

Este fato faz com que a tomada de decisões a curto prazo seja feita no "chão de fábrica". Isto acontece, geralmente, quando surge uma necessidade como um requisito de

emergência de algum cliente, falhas de fabricação ou falhas de modo comum (quebra de máquina), que geram atrasos nos processos envolvidos.

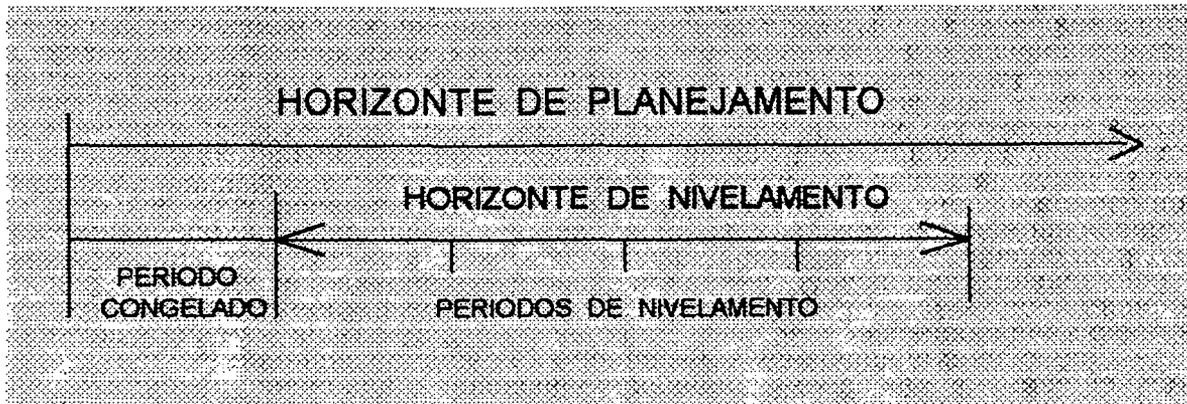


Fig. 6 - Horizonte de planejamento no MRPII. [IWA87]

O auxílio que os sistemas MRPII fornecem é pouco para decisões a curto prazo. Assim, então, são de grande utilidade sistemas que oferecem ao planejamento informações e ajuda para tomada de decisões ao nível de "chão de fábrica" a curto prazo. Este tipo de auxílio pode ser:

- estado gráfico de carga do chão de fábrica;
- sistema de auxílio para seqüenciamento de tarefas em estações de trabalho;
- estado gráfico de carga de estações alternativas para determinada estação de trabalho sobrecarregada.

Este tipo de ferramenta também serve no horizonte de nivelamento, pois geralmente os sistemas MRP possibilitam entrada infinita de carga. Neste caso o balanceamento de carga é geralmente feito pelo programador.

## CAPÍTULO 3

### CRITÉRIOS E TÉCNICAS NO PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO

Um critério pode ser entendido como um princípio usado para balizar a solução de algum problema, assim torna-se válido considerar os critérios a serem descritos neste capítulo como elementos que ajudarão na tarefa de programação e controle de produção. O objetivo deste capítulo é descrever as técnicas que existem e poderiam ser incluídas num sistema como o MRPII de maneira que eles auxiliariam e tornariam mais eficiente o processo de programação de produção a níveis do "chão de fábrica".

Inicia-se esta parte do trabalho tratando do CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), pois considera-se que a informática estará cada vez mais presente nos sistemas de gerenciamento de informação empresarial e será esta a ferramenta física que permitirá a inclusão de sistemas de apoio à decisão das diferentes áreas de uma fábrica entre elas, a de planejamento de produção. Posteriormente, serão descritos os critérios de otimização no planejamento de produção.

#### 3.1. NOVAS TECNOLOGIAS EM PCP

No planejamento e controle de produção exige-se que as medidas propostas aumentem a produtividade sem sacrificar a qualidade. O trabalho de uma área de planejamento é bastante dinâmico devido às mudanças de tecnologia de fabricação e materiais. Atinge-se, então, um momento em que a meta não é trabalhar mais rápido, mas sim, de maneira mais eficiente obtendo uma produção com um elevado padrão de qualidade. Esses fatos fazem

procurar novas técnicas que aumentem a performance das diferentes áreas operacionais e de planejamento de uma empresa.

### 3.1.1. CIM, O CONCEITO DE AUTOMAÇÃO INTEGRADA

CIM é uma arquitetura para integração de múltiplas tecnologias através dos recursos de sistemas computacionais de informação. Quando as técnicas de produtividade funcionam como uma solução integrada, obtém-se maiores benefícios. A implementação desta integração constitui a base do conceito CIM.

O desafio do CIM é a integração dos fluxos de informação com o fluxo de materiais, de componentes e de produtos. Quanto maior é o tempo decorrido entre a identificação de um problema e uma ação corretiva, maior será o custo de trabalho de material e do equipamento, ocasionando algumas vezes insatisfações aos clientes.

A implementação do CIM, mais do que uma decisão econômica, é basicamente uma decisão estratégica, pois só aspectos econômicos determinam a velocidade de sua implementação.

Entre as tecnologias e metodologias relacionadas ao conceito CIM estão: CAD, CAM, CAE, CNC/DNC, MRPII, FMS, GT, robótica, FEA<sup>4</sup>, controle de processos, inteligência artificial, *automated testing*, *automated material handling*, montagem automatizada, monitorização e diagnóstico de equipamentos, planejamento e gerenciamento de manutenção, monitorização e controle de produção.

Todas estas aplicações estão agrupadas em:

- engenharia;

---

<sup>4</sup>CAD - Computer Aided Design - Desenho assistido por computador  
CAM - Computer Aided Manufacturing - Fabricação assistida por computador  
CAE - Computer Aided Engineering - Engenharia assistida por computador  
CNC/DND - Computer Numerical Control / Direct Numerical Control  
Controle Numérico Computarizado / Direto  
FMS - Flexível Manufacturing System - Sistema de manufatura flexível  
GT - Group Technology - Tecnologia de grupo  
FEA - Finite Element Analysis - Análise de elementos Finitos.

- planejamento e controle de recursos de produção;
- operações de fábrica.

Existindo também outras categorias de apoio como:

- administração e suporte a decisão;
- banco de dados e comunicações.

Existem duas novas tecnologias que ajudam as companhias a entrar no campo do CIM, sendo elas técnicas que aumentam a performance das diferentes áreas operacionais e de planejamento de uma empresa e fazem sistemas industriais mais expertos e competitivos; elas são a inteligência artificial e a programação orientada ao objeto.

Para um sistema industrial ingressar na automação deve-se seguir alguns passos cruciais:

- simplificação e reorganização do *lay-out* de fábrica para elevar a eficiência sem contar com a automação ou novas tecnologias de automação. Só conseguindo uma boa organização do "chão de fábrica" será possível obter das etapas seguintes o máximo de benefícios. No Japão, esse requisito é cumprido rigorosamente pela maioria das companhias;
- criar "ilhas de automação" utilizando células de manufatura flexíveis, controles computarizados e outros novos sistemas avançados para o "chão de fábrica". Embora a criação de "ilhas de automação" seja comum nos Estados Unidos é no Japão onde têm maior efetividade;
- integrar as "ilhas de automação" utilizando sistemas CAD através de bases de dados compartilhadas que podem ter estrutura hierárquica ou ser orientadas a objeto;
- utilização de inteligência artificial e *softwares*, orientado ao objeto para integrar algumas operações com CAD e automatizar algumas tarefas complexas como o diagnóstico e seqüenciamento de produção;
- estender a inteligência artificial e técnicas de programação orientada a objeto a todas as gestões de decisão desde o projeto de produto até o serviço ao consumidor e assim conseguir que a empresa seja integrada computacionalmente.

### 3.1.2. CIM E O PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO

A manufatura é considerada hoje como uma arma de competitividade, pois as empresas de manufatura encontram-se num meio diferente do que estavam acostumadas a trabalhar. A velha estratégia de produção em grandes volumes, derivada de noções econômicas, não é mais válida em favor de outras estratégias como o aumento de flexibilidade, redução do ciclo de projeto ou a redução de tempos de resposta às demandas do consumidor.

Algumas características deste novo meio são:

- o incremento da diversidade de produtos;
- a redução do tempo de vida dos produtos;
- a mudança de parâmetros de custo;
- a dificuldade da estimativa de custos e benefícios da tecnologia CIM.

Os computadores, são sem dúvida, ferramentas poderosas nos processos de manufatura. A interface do computador com o processo de produção pode se realizar de forma:

- direta, quando o computador monitora e controla diferentes pontos no "chão de fábrica";
- indireta, quando o computador serve apenas como suporte para a decisão sem capacidade de intervir diretamente no processo. Neste caso o computador processa informação tomada dos processos de produção.

O CAPP (*Computer Aided Process Planning*), ou Gerenciamento de Produção Auxiliada por Computador é um exemplo de interface indireta do computador em relação ao processo produtivo. Alguns outros exemplos são mostrados na figura 7.

A fábrica do futuro terá então as seguintes características:

- trabalhar continuamente devido ao alto custo de capital;
- ter a tendência a trabalhar em pequenos lotes;
- procurar obter reduzidos tempos de fabricação ou *lead time*;
- reduzir consideravelmente a mão-de-obra nas estações de trabalho;

- ser pequena e com máquinas mais versáteis.

	APLICAÇÃO INDIRETA	APLICAÇÃO DIRETA
NÍVEL DO CHÃO	MODELOS DE PLANEJAMENTO SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DA PRODUÇÃO DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR	CONTROLE NUMÉRICO DIRETO (DNC) SISTEMAS DE MANUFATURA FLEXÍVEIS SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE ARMAZENAMENTO
NÍVEL OPERACIONAL	PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO AUXILIADO POR COMPUTADOR MEDIÇÃO DO TRABALHO AUXILIADO POR COMPUTADOR PROGRAMAÇÃO DE CONTROLE NUMÉRICO AUXILIADA POR COMPUTADOR	TESTES AUXILIADOS POR COMPUTADOR CONTROLE NUMÉRICO COMPUTARIZADO MÁQUINAS DE MONTAGEM AUTOMÁTICAS ROBÔS

Fig. 7 - Aplicações do computador em fábricas.

O CIM será importante porque é esta técnica que ajudará a fábrica do futuro a reduzir inventários, diminuir os tempos de processo, diminuir os tempos de projeto, melhorar a utilização da fábrica e controlar o sistema de manufatura.

### 3.1.3. MRPII E CIM

O sistema de gerenciamento de produção visto a partir do CIM não é muito diferente do MRPII. Ambos os sistemas têm a mesma estrutura de funcionamento (figura 8), com a diferença de que o sistema CIM tem um módulo de controle das atividades de produção que funciona continuamente: o PAC (*Production Activity Control*).

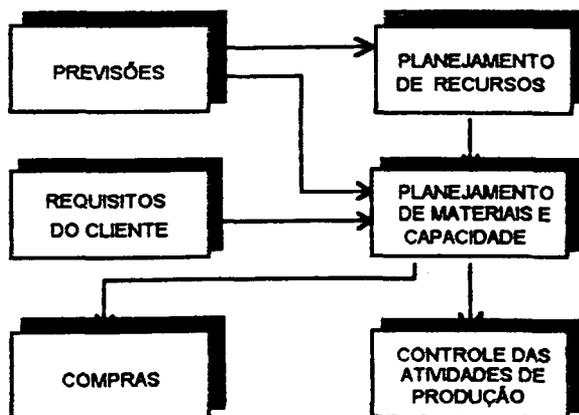


Fig. 8 - Gerenciamento de produção a partir do CIM. [IWA87]

Basicamente o sistema de controle das atividades de produção é um sistema de fluxo de informações que funciona paralelamente ao fluxo de processo (figura 9).

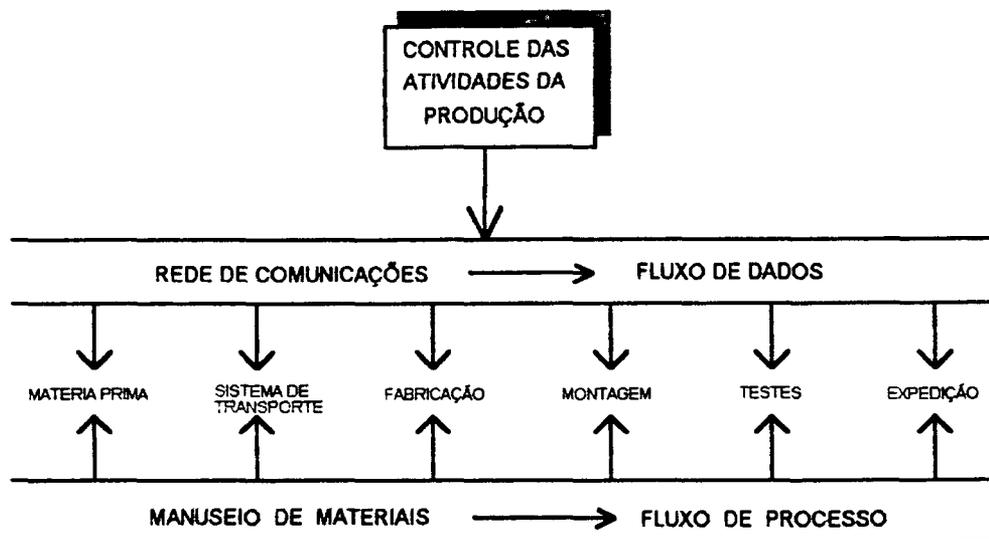


Fig. 9 - Controle de atividades de produção e o "chão de fábrica". [IWA87]

### 3.2. CRITÉRIOS UTILIZADOS NA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO

Thompson [THO92] propõe as seguintes regras básicas para programação de produção:

- identificar as máquinas ou estações de trabalho críticas na fábrica. Um recurso de produção é crítico se a restrição desse recurso é importante no *throughput* de fábrica. Isso acontece quando eles têm uma alta utilização e tempos de fila muito longos;
- os recursos críticos devem ter filas gerenciáveis, que não ultrapassem a capacidade de trabalho. Nesses recursos as tarefas devem ser escolhidas com certo grau de habilidade para minimizar operações de *set-up* e evitar trabalho desnecessário. Se for preciso, devem ser analisadas as estações de trabalho precedentes e esperar a chegada de uma ordem de produção mais conveniente para uma melhor escolha na decisão de seqüenciamento. Também devem ser analisadas as estações seguintes para fazer o sistema de produção fluir e não provocar filas e tempos de espera prolongados nas estações consecutivas;

c) identificar as estações alimentadoras que têm carga moderada de trabalho e são anteriores às estações críticas. O trabalho nestas estações deve assegurar operações para as estações críticas e não permitir que elas fiquem ociosas por falta de trabalho.

### 3.3. CRITÉRIOS PARA ALOCAÇÃO DE CARGA DE MÁQUINA

A tarefa de programação do "chão de fábrica" é uma atividade que pode ter um alto grau de dificuldade devido:

- ao grande número de combinações possíveis a serem consideradas;
- às tecnologias de fabricação sofrerem alterações de forma dinâmica e existirem eventos que invalidam programações desenvolvidas previamente;
- ao processo de programação ser demorado, e normalmente não há tempo para desenvolver e avaliar mais de uma versão para procurar um melhor programa para aumentar a performance do chão de fábrica.

Antes de se efetuar a programação de fábrica devem estar definidos:

- a escala de produção;
- a seleção de produtos a serem fabricados;
- os processos de manufatura;
- a disponibilidade de equipamento e outros recursos de produção.

Na programação detalhada ao nível do "chão de fábrica" podem ser observadas duas fases:

- a primeira é a alocação de tarefas a máquinas;
- a segunda é o problema de seqüenciamento de tarefas a ser analisado em cada máquina, isto é, definir a ordem de execução de tarefas visando obter uma maior produtividade e minimizando o custo de operação do sistema.

As decisões de distribuição de carga têm significativo impacto na performance do seqüenciamento. Nesta fase são utilizados critérios de operação para obter uma alocação eficiente de tarefas entre os quais pode-se citar:

- *set-up* de máquina;
- qualidade na execução de tarefas;
- disponibilidade de equipamentos;
- *lay-out* da fábrica;
- balanceamento de carga de máquina;
- rejeição de ordens de produção.

### 3.3.1. SET-UP DE MÁQUINA E TECNOLOGIA DE GRUPO

O *set-up* de máquina é definido como o conjunto de operações de preparação dos equipamentos com a finalidade de desenvolver as atividades de produção. As atividades de *set-up* são consideradas operações que não agregam valor ao produto, por tanto, com objetivo de racionalização e programação de produção, devem ser minimizados os tempos destinados a *set-up*. Uma das grandes conquistas das técnicas de administração japonesa foi a minimização dos tempos de preparação de máquina.

A tecnologia de grupo é uma técnica que ajuda a minimizar tempos destinados a *set-up*; é também, uma filosofia de manufatura que identifica e explora semelhança de partes e operações de produção fornecendo assim grandes vantagens para o projeto do produto, planejamento de processos e operações de fabricação. A fabricação de grupos de produtos é realizada mediante a execução de tarefas semelhantes permitindo concluir que a alocação de atividades semelhantes às máquinas minimiza o tempo total de *set-up*.

O problema da tecnologia de grupo é determinar uma relação entre classificação de operações e atributos de produto. Esta tecnologia, para ser implantada, necessita de um esquema de representação que possibilite uma eficiente descrição de sistemas e uma técnica de classificação que permita o reconhecimento de similaridades de peças e processos.

As empresas então devem procurar dividir os produtos em famílias de itens e dividir o "chão de fábrica" em células de produção visando a diminuir os tempos de *set-up*.

### 3.3.2. BALANCEAMENTO DE CARGA E UTILIZAÇÃO DE MÁQUINA

A performance de uma fábrica pode ser controlada por muitas variáveis como a quantidade de trabalho na entrada do sistema, seqüenciamento e balanceamento do trabalho em cada máquina. Para efeitos práticos é importante controlar o "chão de fábrica" com o menor número possível de variáveis.

Na programação e controle de produção existem muitos problemas como flutuações de carga, alterações nas datas de entrega etc. A flexibilidade de capacidade de máquina usualmente é muito baixa para absorver estas variações. Esta baixa flexibilidade da fábrica aumenta a quantidade de trabalho em processo, o tempo médio de processamento e a percentagem de atrasos de produção.

Ajustando o balanceamento de carga às máquinas é possível obter melhores resultados de produtividade. Este ajuste é feito utilizando a programação finita ou infinita de recursos.

Shimoyashiro [SHI84] fez uma simulação com dados reais de produção ajustando o balanço de carga em máquinas que representam um sistema de produção onde:

- a) a níveis baixos de trabalho em processo a produtividade aumenta rapidamente até um ponto de saturação, que no trabalho de simulação foi de 200 ordens;
- b) o tempo médio de processamento aumenta proporcionalmente com a quantidade de trabalhos em processo.

Depois do balanceamento de produção há um aumento da produtividade e diminuição do tempo médio de processo. Isto se consegue através do controle da entrada com base no ajuste de carga nas máquinas.

Nos gráficos de comportamento do sistema (figuras 10 e 11), é possível observar como as curvas de produtividade e do tempo médio de processo são melhoradas ajustando a carga em cada máquina.

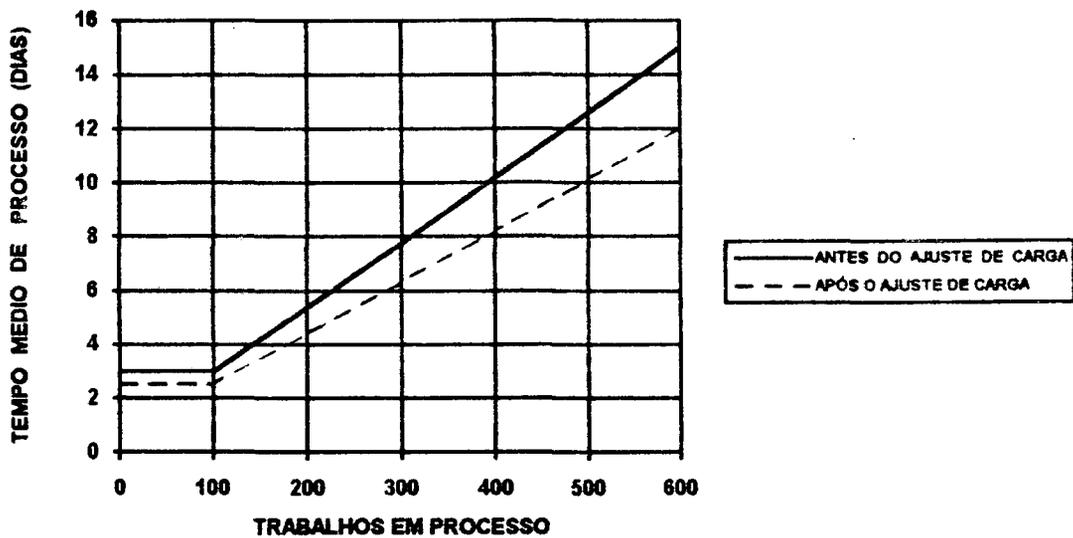


Fig. 10 - Diminuição do tempo médio de processamento (*lead time*) com o balanceamento de carga do sistema. [SH184]

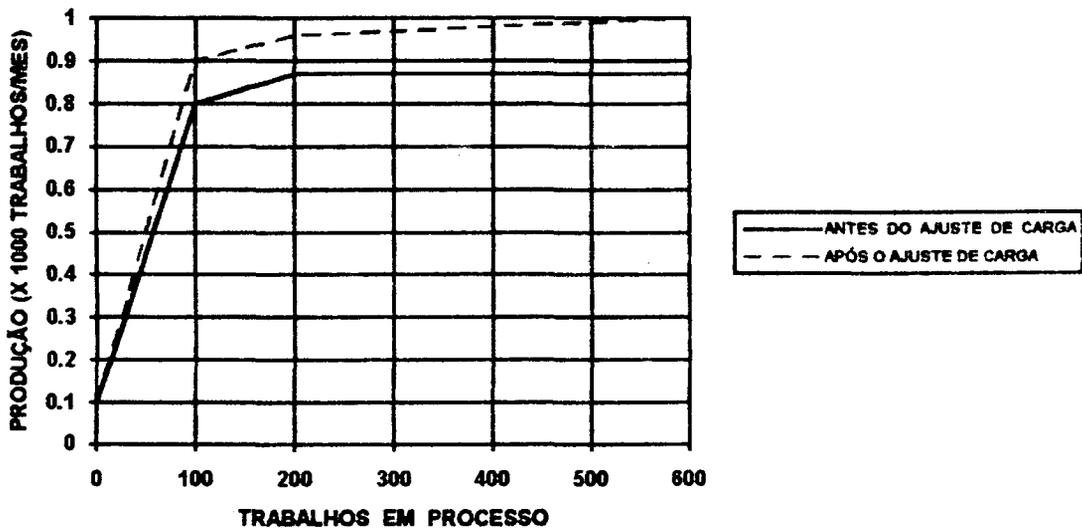


Fig. 11 - Aumento de produtividade com o balanceamento de carga no sistema. [SH184]

O critério de balanceamento de carga é aplicado, então, distribuindo-se a carga de trabalho de cada máquina ou estação de trabalho, a fim de evitar que a capacidade de processamento seja ultrapassada para algum período de operação (figura 12). Este critério é considerado na alocação de carga a máquinas. Neste ponto também é considerado o grau de especialização de certo tipo de equipamento, pois geralmente nas fábricas se têm máquinas especializadas em certas atividades. Isto faz com que a alocação dessas atividades a essas

máquinas seja feita diretamente, sem necessidade de avaliar a possibilidade de que a tarefa seja executada em outro tipo de máquina. Quando isto acontece, o problema se reduz a seqüenciamento de tarefas, isto é, distribuição das tarefas de cada máquina no tempo.

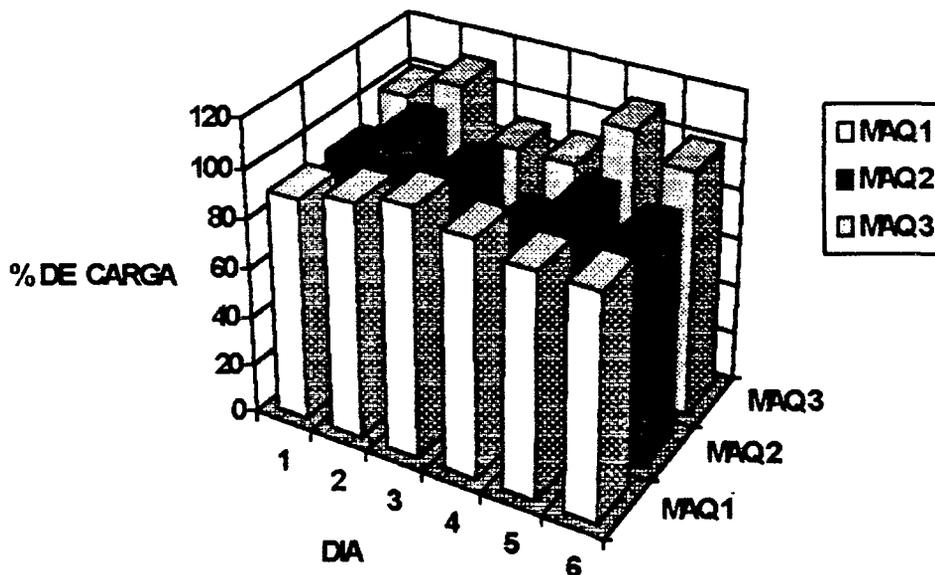


Fig. 12 - Conceito de balanceamento de carga. [SHI84]

Outro parâmetro que deve ser considerado na alocação de trabalhos às máquinas é o grau de utilização dos equipamentos. O custo de operação de uma máquina está associado ao seu grau de utilização, se este for baixo, os custos de operação aumentam.

### 3.3.3. REJEIÇÃO DE ORDENS DE TRABALHO

Mais que um critério, a rejeição de um trabalho é uma estratégia que visa melhorar a performance de fábrica (minimizar atrasos, minimizar tempos de processo ou *lead time*, inventários em processo etc.).

Antes que uma ordem ingresse a um sistema de produção são necessários:

- as folhas de rota, requerimentos de materiais, ferramentas, diagramas de engenharia;
- a verificação da disponibilidade de materiais;
- a verificação da disponibilidade de capacidade.

Após o cumprimento dessas etapas é liberada a ordem, que entra numa fila de espera até que a fábrica tenha capacidade de processá-la.

Philippom e Fry [PHI92] concluíram que, controlando melhor a liberação de ordens de trabalho, é possível melhorar a performance de processo, o controle de inventários e a satisfação do consumidor, embora não se consiga maximizar a utilização de recursos.

O grande problema da rejeição de ordens é a perda de venda e de lucro por não executá-las. Em ambientes de alta competitividade o cliente terá alternativas para re-alocar a compra. Em outro tipo de sistema pode existir a possibilidade de negociar as datas de entrega. Se a empresa aceitar toda ordem recebida, o prejuízo, no caso de atraso, pode ser maior.

No trabalho de Philippom e Fry, foram feitas simulações de um sistema de produção com cinco estações de trabalho e doze máquinas. O tempo de entrega das ordens era de duas semanas e utilizaram-se diferentes critérios para rejeição de ordens:

- o primeiro critério de rejeição foi o de não aceitar as ordens se a carga de produção do sistema ultrapassasse diferentes níveis de capacidade. Assim, por exemplo, se a carga de produção tolerável num determinado momento fosse 80% da capacidade da fábrica, a percentagem de trabalhos rejeitados poderia ser de 10%; se a capacidade tolerável fosse de 90% a percentagem de rejeição diminuiria a 5%;
- o segundo critério para rejeição foi semelhante ao primeiro; apenas em vez de se considerar o sistema todo, considerava-se a máquina que estava mais carregada. Assim, com uma carga de trabalho de 80% sobre uma máquina a percentagem de trabalhos rejeitados poderia ser 8% e se essa carga tolerável fosse 90% as ordens de trabalho rejeitadas diminuiriam para 3%;
- o terceiro critério foi a rejeição aleatória de diferentes percentagens de trabalhos que o sistema recebia.

A chegada de trabalhos ocorria segundo uma distribuição normal. Com esses dados, a simulação jogou os resultados mostrados nas figuras 13, 14 e 15; em função da percentagem de trabalhos rejeitados.

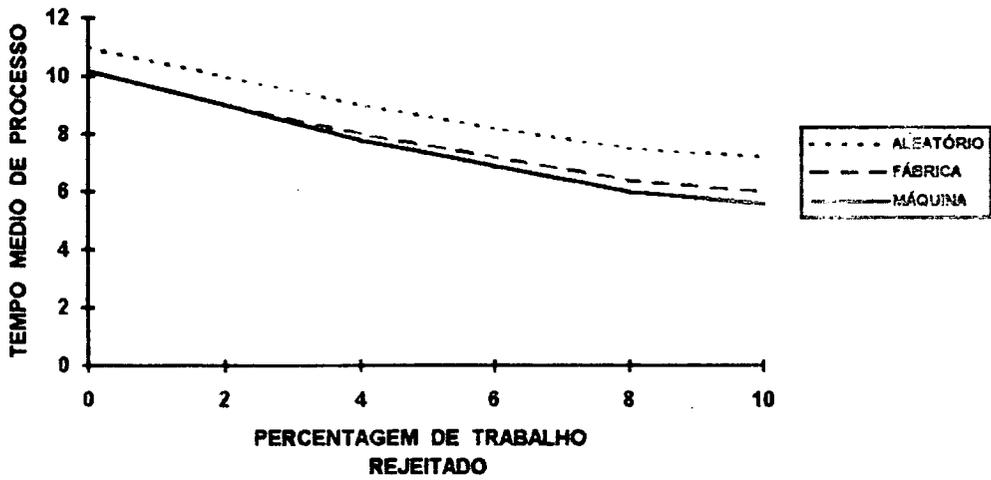


Fig. 13 - Tempo médio de processo (dias). [PHI92]

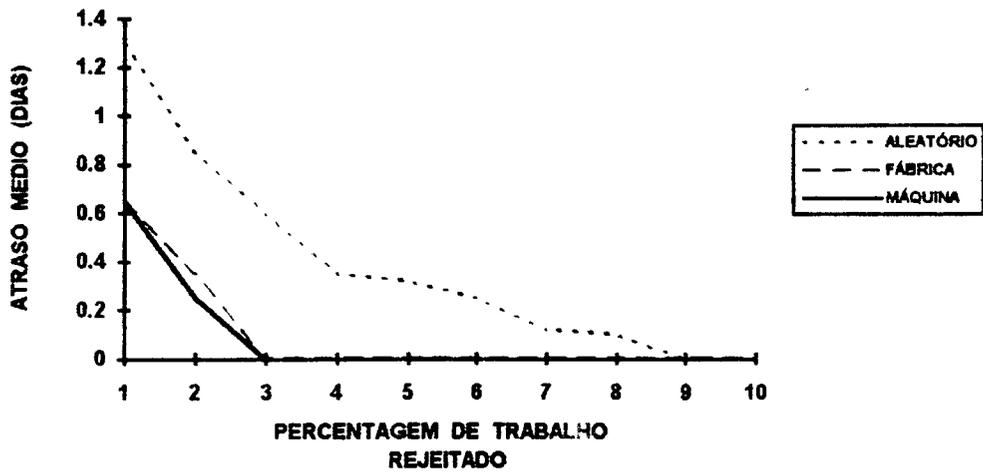


Fig. 14 - Atraso médio (dias). [PHI92]

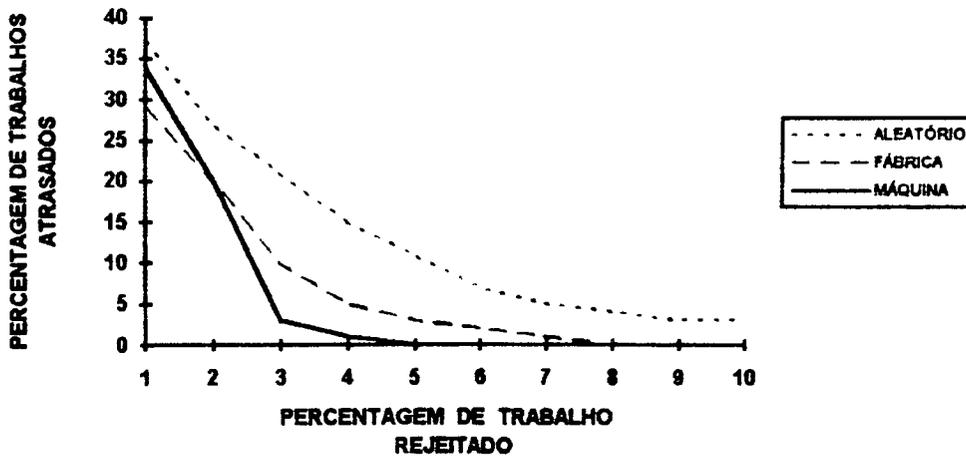


Fig. 15 - Percentagem de trabalhos atrasados. [PHI92]

Isto quer dizer que o critério que considerou a máquina mais carregada como parâmetro de rejeição de trabalhos teve melhores resultados. Assim, utilizando como parâmetro máximo de carga do sistema um valor que rejeitara de 3 e 4% das ordens de produção que recebia, fazia o tempo médio de processo diminuir e os atrasos praticamente não existiam.

### 3.3.4. REGRAS DE PRIORIDADES PARA SEQÜENCIAMENTO DE OPERAÇÕES

Na pesquisa operacional, outra abordagem do problema de programação de produção é a aplicação de regras de prioridades de operações nos postos operativos. Estas são denominadas regras de liberação e selecionam as operações a serem efetuadas entre um conjunto que está a espera de processamento. Essas regras servem como base para tomada de decisões sobre a ordem de processamento de um conjunto de operações.

Tais regras podem ser simples ou complexas; assim, por exemplo, selecionar uma operação aleatoriamente é uma regra simples enquanto que selecioná-la com a data de entrega mais cedo e com o estoque do cliente em baixa, é uma regra complexa.

Blackstone [BLA82] define formalmente 34 regras de liberação que estão divididas em quatro grupos:

- regras envolvendo tempo de processamento;
- regras envolvendo data de entrega;
- regras simples;
- regras envolvendo duas ou mais das três anteriores.

Entre as regras envolvendo o tempo de processamento estão:

- SIO (*Shortest Inminent Operation*) ou a regra que seleciona a tarefa cuja operação pode ser completada em menor tempo;
- SR (*Shortest Remaining Processing*) que avalia os tempos de processamento pelos quais a tarefa ainda deverá passar e seleciona a menor.

As regras envolvendo data de entrega podem ser classificadas em quatro grupos, segundo o método utilizado:

métodos externos:

- constante - o vendedor tem cota de entrega uniforme para um período futuro;
- aleatório - o comprador estabelece data de entrega;

métodos internos:

- baseados na quantidade total de trabalho;
- baseados no número de operações.

As regras deste grupo geram menor variância de atraso de tarefas do que as regras baseadas em tempo de processamento (menos percentagem de tarefas atrasadas). Exemplos destas regras podem ser:

- EDD (*Earliest due date*) data de entrega mais cedo;
- MS (*Minimum Slack*) ou folga mínima, que é o tempo que resta para a data de entrega menos o somatório dos tempos restantes de processamento.

Entre as regras simples estão como exemplos:

- RANDOM, ou seleção aleatória de tarefa;
- FIFO (*First in first out*), processamento em ordem de chegada;
- Número de operações restantes que não têm um bom desempenho.

As regras combinadas são feitas geralmente por uma soma ponderada dos índices de prioridade alocados às regras que estão sendo combinadas. Exemplos destas regras são:

- COVERT, ou custo de atraso sobre o tempo restante que é a soma ponderada da folga por operação e tempo de processamento;
- função de prioridade ou soma ponderada sobre vários fatores como folga, data de entrega, tempo de operação etc.

### 3.3.5. REGRAS HEURÍSTICAS PARA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO

Regra heurística é uma regra intuitiva ou de simplificação que limita a busca de uma solução em um domínio muito amplo ou pouco estruturado.

Gere [GER66] listou oito regras heurísticas de liberação:

- alternar operações, programar a operação de acordo com uma regra e checar se isto torna alguma outra tarefa "crítica", ou faz sua folga negativa, ou abaixo de certo nível. Se acontecer, cancela-se a última operação e programa-se a próxima operação da tarefa crítica. Se também houver atraso, programa-se a tarefa inicial;
- *look ahead*, estuda o efeito causado pela programação de uma tarefa escolhida por uma regra de liberação antecedendo os efeitos na programação de tarefas em estações de trabalho consecutivas;
- *insert* ou inserir, usa a heurística anterior inserindo uma tarefa na programação da máquina consecutiva, no caso de a duração da tarefa inserida permitir que seja completada antes do fim da tarefa que está sendo processada na primeira máquina;
- programação transcendente ao tempo, é um procedimento que tenta antecipar conflitos através de iterações. Cada iteração inicia a alocação de tarefas reavaliando as prioridades das operações, permitindo inicialmente a alocação com quebra de restrições de tempo;
- subconjuntos de tarefas críticas, programa segundo tarefas que têm menores folgas. A medida que as operações vão sendo programadas, as prioridades de operações são atualizadas;
- refazer com datas de entrega ajustadas, diminui as datas de tarefas atrasadas para refazer uma nova programação de produção segundo novos índices de prioridades. Desta maneira as operações antes atrasadas são forçadas a serem antecipadas quando o programa é refeito;
- flexibilidade é uma heurística que viola a restrição rígida do tempo e faz com que, numa programação representada pelo gráfico de Gantt, que apresente uma tarefa que não se ajuste bem entre suas sucedâneas, seja "comprimada" no tempo disponível para que as outras tarefas não sofram atrasos;

- manusear é uma regra que utiliza como ferramenta o gráfico de Gantt e manuseia os espaços ociosos que aparecem no gráfico para melhorar o aproveitamento do programa de produção.

### 3.4 AVALIAÇÃO DE MODELOS DE PROGRAMAS DE PRODUÇÃO

Os modelos usados para programação e controle de produção são chamados modelos operacionais. A precisão deles é verificada comparando as previsões de performance de fábrica como: tempo de ciclo, *throughput*, utilização de recursos e gargalos com as medidas reais de operação de fábrica.

Um bom programa de produção tem as características de:

- reduzir custos através de gerenciamento de recursos de produção;
- reagir rapidamente as oscilações de demanda do mercado;
- minimizar o tempo de ciclo de produção;
- completar as ordens de produção no tempo previsto, melhorando assim a qualidade do serviço oferecido aos clientes internos e externos;
- minimizar o trabalho em processo e inventários excessivos de produtos finais;
- maximizar a utilização de recursos;
- minimizar ou evitar os sobre-tempos de trabalho;
- minimizar o custo de movimentação e estoque de materiais.

Na maioria das vezes ocorrem conflitos entre estas características. Assim, por exemplo, aumentando-se a utilização de recursos pode-se estar aumentando as filas de trabalhos em processo e aumentando os tempos de ciclo de produção.

Um bom programa deve estar de acordo com as metas e objetivos gerenciais. A performance dele é avaliada com base nos seguintes objetivos:

- tempos de entrega;
- *throughput* de fábrica (produtividade);
- *lead time* (tempo de permanência de ordens de produção no sistema);
- níveis de inventário em processo;

- utilização de recursos de produção;

### 3.4.1. COEFICIENTES PARA AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE DE FÁBRICA

O tempo médio de processo ( $Tm$ ) é o tempo médio em que as ordens de trabalho permanecem no sistema de produção. Quanto menor este tempo, mais eficiente é o sistema; isto, indiretamente indica que os trabalhos em processo permanecem na fábrica menos tempo.

$$Tm = \sum_{i=1}^N (Ci - Ri) / N$$

onde:

$Ci$ : data da ordem completada;

$Ri$ : data de entrada da ordem de trabalho;

$N$ : número de trabalhos.

O atraso médio ( $Lm$ ) é uma avaliação dos atrasos que sofrem as ordens de produção com respeito as datas de entrega ou a conclusão das ordens.

$$Lm = \sum_{i=1}^N \text{Max} [0, Li] / N$$

onde:

$Ci$ : data da ordem completada;

$Li$ : atraso:  $Li = Ci - di$

$di$ : data de entrega;

O atraso negativo ( $NLm$ ) ou antecipação média é um fator importante para avaliar sistemas que trabalham em ambientes *just in time*. O atraso negativo avalia os intervalos

de tempo em que as ordens de trabalho permanecem a espera do cliente (por ter sido acabadas antes da data de entrega).

$$NLm = \sum_{i=1}^N \text{Max} [0, NLi] / N$$

onde:

Ci: data da ordem completada;

NLi: atraso:  $NLi = di - Ci$

di: data de entrega;

### 3.5. CRITÉRIOS UTILIZADOS NO MODELO PROPOSTO

O sistema proposto utiliza, inicialmente, um modelo de estrutura de produto e capacidade de recursos. Para isso faz-se uso de matemática matricial. Com este tipo de modelo é possível construir, de maneira eficiente, um sistema para apoio na programação de produção.

Para a aplicação de sistemas como o proposto há necessidade de um ambiente onde possa ser possível o controle de dados operacionais no "chão de fábrica". Isto pode ser conseguido mediante relatórios diários operacionais de diferentes estações de trabalho ou sistema de comunicações *on line*. Para processar as informações são utilizadas técnicas de programação por objeto, porque elas permitem trabalhar com as matrizes dos modelos (os objetos) de forma eficiente de um ponto de vista computacional. Este processamento de informações é independente do sistema *on line*, pois, a utilidade do sistema *on line* é de atualizar dados e apoiar no seguimento do programa de produção gerado.

Na alocação de tarefas, o modelo é utilizado principalmente em conjunto com:

- critérios de carga e balanceamento do "chão de fábrica", visando evitar sobrecarga, sub-utilização de recursos e obter boa performance com respeito ao tempo médio de processamento.;
- um sistema de rejeição de ordem de trabalho, quando a ordem proposta ultrapassar a capacidade de processamento de alguma máquina e assim evitar atrasos.

Para a abordagem do problema de seqüenciamento de operações em estações de trabalho é proposto:

- identificar as estações críticas do sistema que determinarão capacidade de processamento do sistema de produção;
- ordenar as tarefas de processamento nas estações críticas, segundo uma regra de seqüenciamento de operações que melhor se adapte ao sistema;
- segundo os ordenamentos obtidos nas estações críticas e segundo a regra de seqüenciamento selecionada, determinar a ordem de processamento nas demais estações de trabalho<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Como será visto, na aplicação deste trabalho será utilizada a regra de processar primeiro as ordens de trabalho que menor tempo de processamento acumulado tiveram (regra MLT - Minimum *lead time*) devido a que desta maneira os trabalhos em processo são diminuídos e geram tempos médios de processamento satisfatórios.

## CAPÍTULO 4

### MODELO DE FÁBRICA E ESTRUTURA DE PRODUTO

A modelagem é uma ferramenta que serve para representar de maneira gráfica, física ou analítica sistemas reais. Estes modelos podem representar de forma aproximada ou exata o comportamento de um sistema.

Para efeitos de processamento de informações é necessária a representação analítica ou matemática, pois os modelos gráficos têm apenas funções de interface. Isso é motivo para que a base de um sistema CIM seja analítica, podendo as interfaces serem gráficas.

Um sistema de MRPII está basicamente apoiado por dois tipos de modelos analíticos: um modelo que representa disponibilidade da infra-estrutura que pode ser nomeado como modelo de fábrica, e outro modelo que representa o produto, chamado normalmente estrutura de produto. O objetivo deste capítulo é descrever como estes dois tipos de modelos se comportam nos ambientes de MRPII e como estes modelos serão transformados para relacionarem-se e serem utilizados por ferramentas de auxílio no planejamento de produção.

A estrutura deste capítulo será, então, primeiro descrever globalmente o sistema de auxílio no planejamento de produção e analisar onde os modelos de capacidade e estrutura de produto são utilizados no sistema, posteriormente serão estudados os modelos de fábrica e de produto.

#### 4.1. MODELOS NO SISTEMA DE PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO

A lógica do sistema de auxílio ao planejamento de produção, proposto neste trabalho, é representada na figura 16. Nela são representados como dados de ingresso as

informações de capacidade e processo de produto que normalmente são dados fornecidas pela área de engenharia para obter os modelos de capacidade e produto.

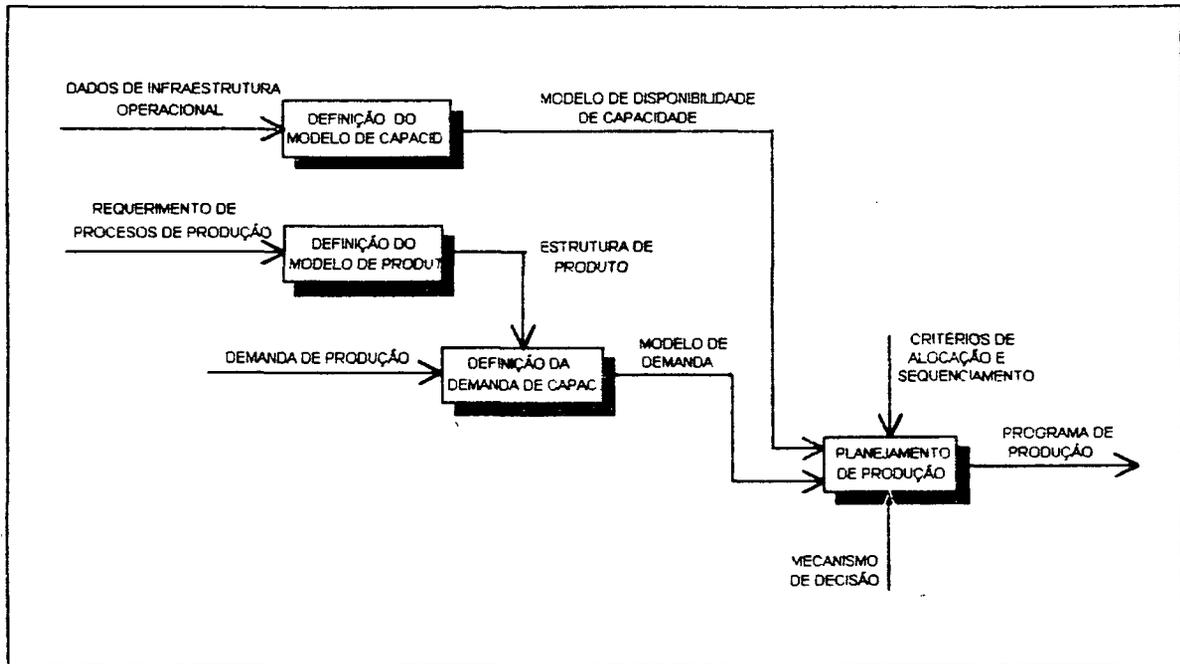


Fig. 16 - Sistema de planejamento de produção.

O modelo de capacidade com que o sistema trabalha permanece constante, enquanto o modelo de produto serve apenas como parâmetro para, segundo a demanda, fornecer um terceiro modelo que representa a demanda de produtos que uma empresa pode ter num prazo de tempo finito.

O sistema de auxílio ao planejamento de produção trabalha então relacionando os modelos de capacidade de fábrica e de demanda.

#### 4.2. MODELO DE DISPONIBILIDADE DE FÁBRICA

Os sistemas de MRPII contam com modelos de capacidade que têm a forma de uma base de dados que possui as seguintes características:

- cada registro representa um tipo de máquina e um tipo de processo descrevendo as características da máquina trabalhando no referido processo. Se existir  $n$  máquinas desse tipo, não existirá um registro para cada máquina;

- dentro dessas características estão informações como ferramental necessário, dados técnicos de processo, fatores de refugo, dados de consumo e produção.

Assim a estrutura de dados de capacidade tem a forma mostrada na figura 17.

PRODUTO	REQ. DE MAQ. POR PRODUTO	NOME DA MÁQUINA	DADOS DE PROCESSO FERRAMENTAL, CONSUMO	PRODUÇÃO	FATOR DE REFUGO
---------	-----------------------------	--------------------	---	----------	--------------------

Fig. 17 - Estrutura de dados de capacidade do sistema MRPII.

Visando obter as informações necessárias para um sistema de auxílio ao planejamento de produção, um sistema pode ser modelado em função da disponibilidade de tempo do recurso. Assim, por exemplo, uma máquina com uma disponibilidade de 20 horas diárias poderia ter a representação seguinte:

Disponibilidade = 20

Se existir uma secção com 5 máquinas idênticas a representação da secção será:

Disponibilidade = 100

O fato de existirem duas ou mais máquinas do mesmo tipo com diferentes rendimentos pode ser corrigido utilizando-se um tempo disponível referencial. Assim, se houver duas injetoras, uma com capacidade de processar 8 produtos por minuto e outra com capacidade de processar 5 produtos por minuto, trabalhando com uma disponibilidade de 20 horas diárias, após a escolha do primeiro equipamento como referência ter-se-iam os seguintes dados de disponibilidades corrigidas:

Disponibilidade injetora 1 = 20

Disponibilidade injetora 2 =  $20 * 5/8 = 12.5$

Se existirem duas ou mais máquinas diferentes, as disponibilidades não poderiam ser adicionadas. Então, por exemplo, uma estação de trabalho com três máquinas diferentes e disponibilidade de 20 horas diárias para cada uma pode ser representada por um vetor:

Disponibilidade = [20, 20, 20]

Desta maneira um modelo geral de disponibilidade para a fábrica teria a seguinte forma:

$$\text{Disponibilidade} = [T_1, T_2, T_3, \dots, T_n]$$

Onde  $T_j$  representa a disponibilidade referencial de um recurso de produção de diferente gênero.

A justificativa de uma representação multi-dimensional para um modelo de disponibilidade é que entre cada sistema produtivo como uma fábrica, um subsistema ou cada posto de produção, existem diferenças físicas que os habilitam a executar um limitado número de atividades.

É assim que uma fábrica de moveis de madeira tem recursos diferentes aos apresentados em uma fábrica de equipamentos hidráulicos, em uma mesma indústria metal-mecânica as atividades realizadas num posto de fresagem são diferentes das realizadas num posto de soldagem e estas diferenças devem se manifestar no modelo de fábrica.

Para representar a possibilidade das operações serem realizadas num sistema físico, é construído o modelo de disponibilidade de fábrica que seria a união dos modelos de capacidade dos postos de operação que nela existem. Isto teria a forma mostrada na figura 18.

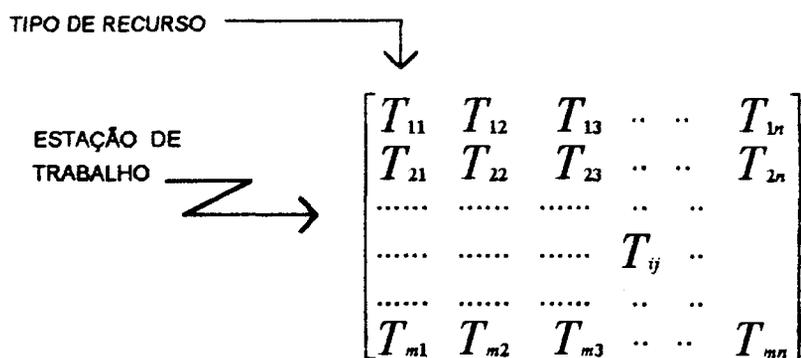


Fig. 18 - Modelo de disponibilidade de fábrica.

Essa matriz significa que o "chão de fábrica" está dividido em  $m$  postos operativos e  $n$  tipos de recursos significando o valor  $T_{ij}$  a disponibilidade para produzir com o recurso  $j$  no posto operativo  $i$ .

De maneira análoga, cada estação de trabalho poderia ser representada segundo as máquinas que a compõem, assim, por exemplo, se na estação de trabalho  $i$  existirem  $k$  máquinas, ela poderia ser representada com a matriz mostrada na figura 19.

Sendo o valor da disponibilidade de um tipo de recurso numa estação de trabalho igual a somatório de máquinas com capacidade do recurso considerado, tem-se:

$$T_{ij} = \sum_{l=1}^k t_{lj}$$

$$\begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & \dots & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & \dots & \dots & t_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{k1} & t_{k2} & t_{k3} & \dots & \dots & t_{kn} \end{bmatrix}$$

Fig. 19 - Modelo de disponibilidade da estação de trabalho.

Alguns arranjos típicos do chão de fábrica poderiam ser:

Sistema onde se tem um tipo de máquina para cada estação de trabalho:

$$\begin{bmatrix} T_{11} & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & T_{22} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & T_{nn} \end{bmatrix}$$

Sistema onde se tem  $m$  estações de similar configuração:

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & \dots & \dots & z_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & \dots & \dots & z_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & b_m & c_m & \dots & \dots & z_m \end{bmatrix}$$

Assim, por exemplo, numa fábrica onde existem 3 seções, duas de máquinas de usinagem e outra de acabamento sendo composta cada seção pelas seguintes máquinas e respectivas disponibilidades de tempo:

seção de usinagem 1:

QUANT.	MAQUINA	DISPONIB. MAQUINA <sup>6</sup>	DISPONIB. TOTAL
3	TORNO	20	60
1	FRESADORA	20	20
1	RETIFICADORA	20	20

seção de usinagem 2:

QUANT.	MAQUINA	DISPONIB. MAQUINA	DISPONIB. TOTAL
2	TORNO	20	40
2	FRESADORA	20	40
3	LIMADORA	20	60

seção de acabamento:

QUANT.	MAQUINA	DISPONIB. MAQUINA	DISPONIB. TOTAL
2	FORNO TRAT. TÉRMICO	22	44
1	FORNO PINTURA	22	22

o modelo de disponibilidade seria resumido pela tabela 1.

TABELA 1 - Disponibilidade diária de recursos (horas)

SEÇÃO/RECURSO	TORNO	FRESA	RETIF.	LIMAD.	FORNO T.T.	FORNO PINT.
USINAGEM 1	60	20	20	0	0	0
USINAGEM 2	40	0	40	60	0	0
ACABAMENTO	0	0	0	0	44	22

<sup>6</sup>Disponibilidade de tempo em horas.

Resultando na seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} 60 & 20 & 20 & 0 & 0 & 0 \\ 40 & 0 & 40 & 60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 44 & 22 \end{bmatrix}$$

### 4.3. MODELO DE PRODUTO

Os modelos de produto são denominados como estrutura de produto nos ambientes de MRPII. Nestes modelos tem-se informações de processo como:

- seqüência de operações;
- materiais nas operações;
- tempos padrões;
- mão-de-obra direta;
- tempo de máquina.

Todos estes dados normalmente são fornecidos em função de uma unidade de algum produto específico.

Para realizar o planejamento de capacidade do "chão de fábrica", as informações que um sistema de MRPII fornece são suficientes. A partir da estrutura de produto de um sistema MRPII é possível propor um modelo que ofereça as informações necessárias para o planejamento de capacidade no "chão de fábrica". Estas informações são resumidas como:

- seqüência de operações no processo;
- definição de unidades mínimas de produção;
- tempos das operações;
- demandas operacionais de máquinas e estações de trabalho.

Na definição da seqüência de operações num produto são utilizadas estruturas do tipo árvore com a codificação conforme mostra a figura 20.

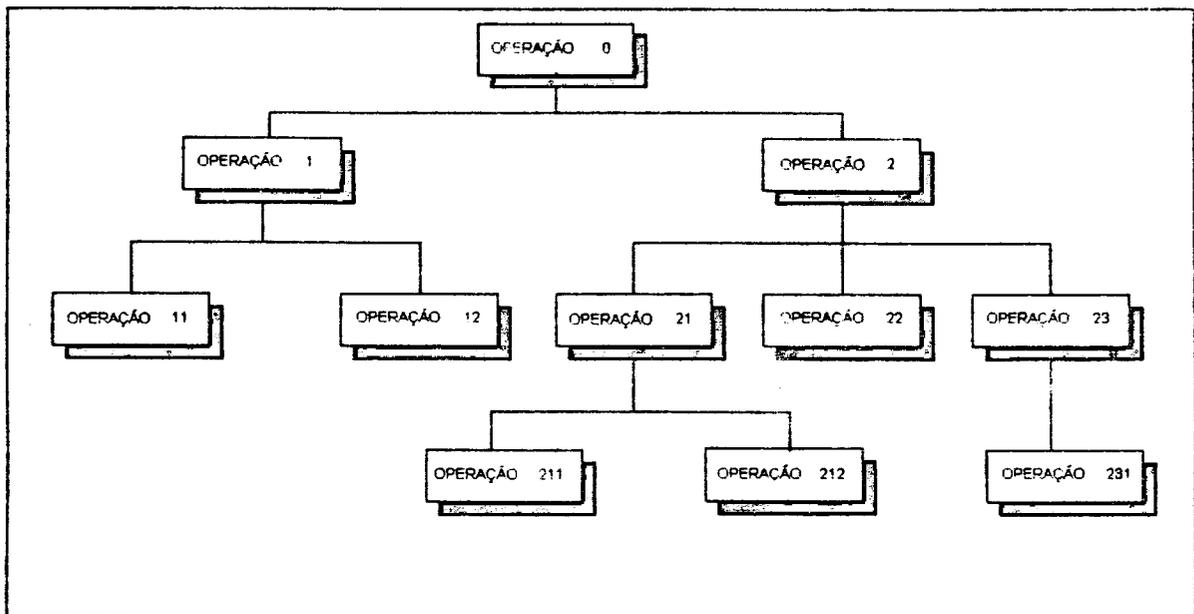


Fig. 20 - Sistema de codificação para determinar seqüência de operações.

Isso significa que para ser realizada a operação 0 (última operação do processo) devem estar completadas as operações que estão em níveis abaixo dela. Por exemplo, para realizar a operação 2, as operações 21, 22, 23 e conseqüentemente as operações 211, 212 e 231 deveram estar completadas. Uma alternativa para representar a estrutura de produto de maneira mais simplificada é a utilizada por alguns sistemas MRPII que consideram subprodutos, desta maneira cada ramificação seria um ou mais subprodutos diferentes como é mostrado na figura 21, onde se mostra que para ser efetuada a montagem (operação 0) é necessária a finalização dos subprodutos 1 e 2.

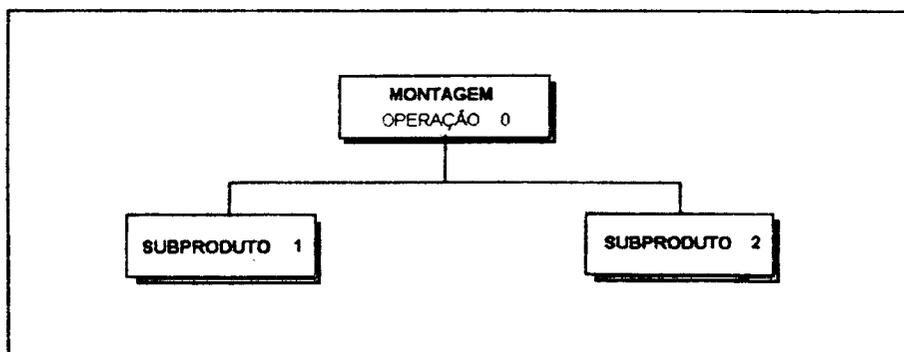


Fig. 21 - Sistema de codificação alternativo.

Uma vez que o processo é definido, é necessário também definir o tamanho do lote que servirá de referência para estimar os padrões de tempos de utilização de máquina e operação. Para este caso, o MRPII utiliza a unidade de produto, até mesmo nos casos em que o

processamento da unidade de produto pode ser inviável. Neste trabalho é proposta a utilização do lote mínimo de processamento que pode ser definido como a quantidade mínima de produtos que podem ser fabricados num *batch*. Abrangendo também tamanhos de lotes iguais a unidade de produto em situações onde o processamento unitário seja prático.

O produto é gerado na fábrica mediante diferentes atividades de transformação que lá ocorrem. Devido a isso, o produto é modelado segundo as atividades que são realizadas para produzi-lo. A quantidade do recurso que a operação precisa é avaliada em função do tempo de preparação e processamento. Existe, além destes dois dados, um tempo adicional de operação definido como aquele que o produto necessita para passar pelo posto operativo (figura 22). Desta maneira, os dados que definiriam uma operação são:

- tipo de recurso;
- tempo de processamento;
- tempo de preparação e
- tempo adicional de operação.

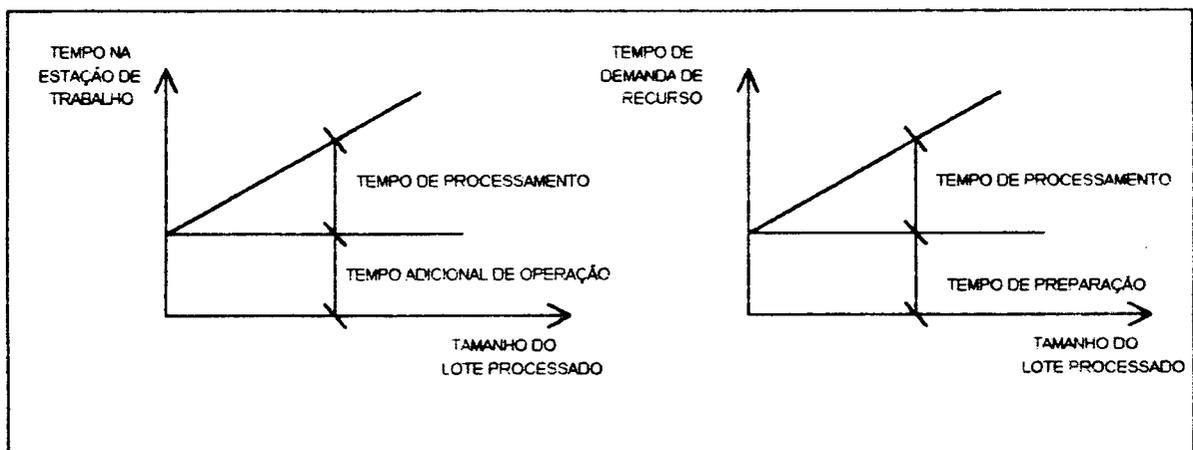


Fig. 22 - Tempo de processamento na estação de trabalho e tempo de demanda de recurso.

Com essas informações pode ser descrito um processo qualquer, assim, por exemplo, a estrutura do produto união universal 3/4ª gerada por um sistema MRPII pode ser modelada conforme mostra a figura 23. Nesse exemplo, são mostradas, para cada operação o recurso de que precisa, os tempos de operação, de preparação e o adicional de operação.

**UNIÃO UNIVERSAL 3/4" - 150 PSI**  
**LOTE DE PEÇAS = 690**

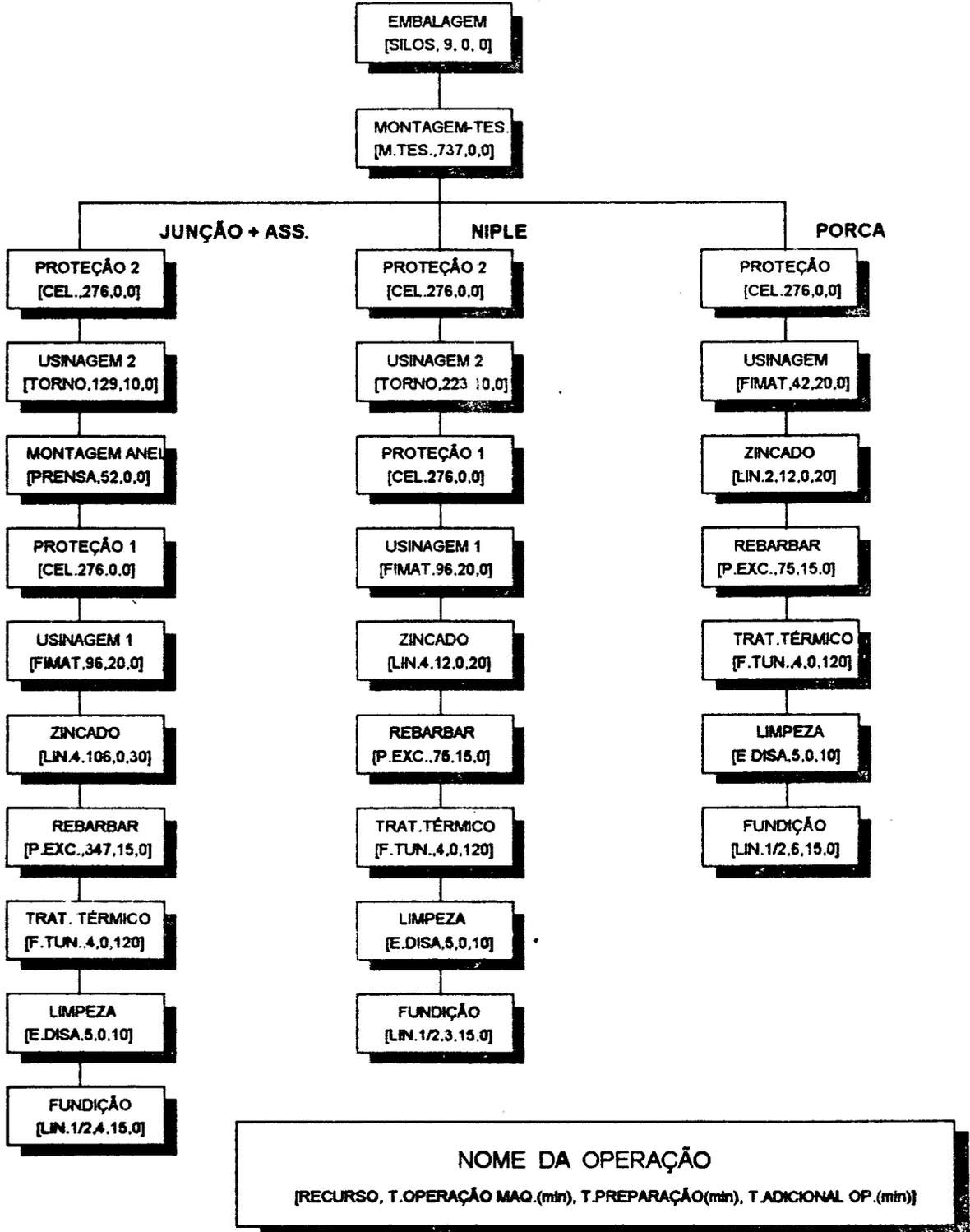


Fig. 23 - Modelo de estrutura de produto.

#### 4.4. MODELO DE DEMANDA

A demanda é processada como ordens de produção. Cada ordem de produção é construída com os seguintes dados:

- tipo de produto;
- quantidade a ser processada e
- data de entrega.

Estes dados são combinados com a estrutura de produto para obter a demanda de capacidade do chão de fábrica (figura 24).



Fig. 24 - Geração do modelo de demanda.

Assim, na figura 25 é apresentado um modelo de uma ordem de produção de 5000 peças do exemplo da estrutura de produto apresentada na figura 23. Elas são processadas em lotes de 690 peças, sendo que as operações são definidas em função de duas classes de tempos:

$$TREC = TPREP * NMAQ + 5000 / 690 * TPROC$$

$$TTPR = TADPR + 5000 / 690 * TPROC / NMAQ$$

onde:

*TREC*: Tempo demandado do recurso;

*TTPR*: Tempo total de processamento;

*TPREP*: Tempo de preparação de máquina;

*NMAQ*: Número de máquinas ou facilidades;

*TPROC*: Tempo de processamento na máquina.

*TADPR*: Tempo adicional de processamento

**UNIÃO UNIVERSAL 3/4" - 150 PSI**  
**LOTE DE PEÇAS = 5.000**

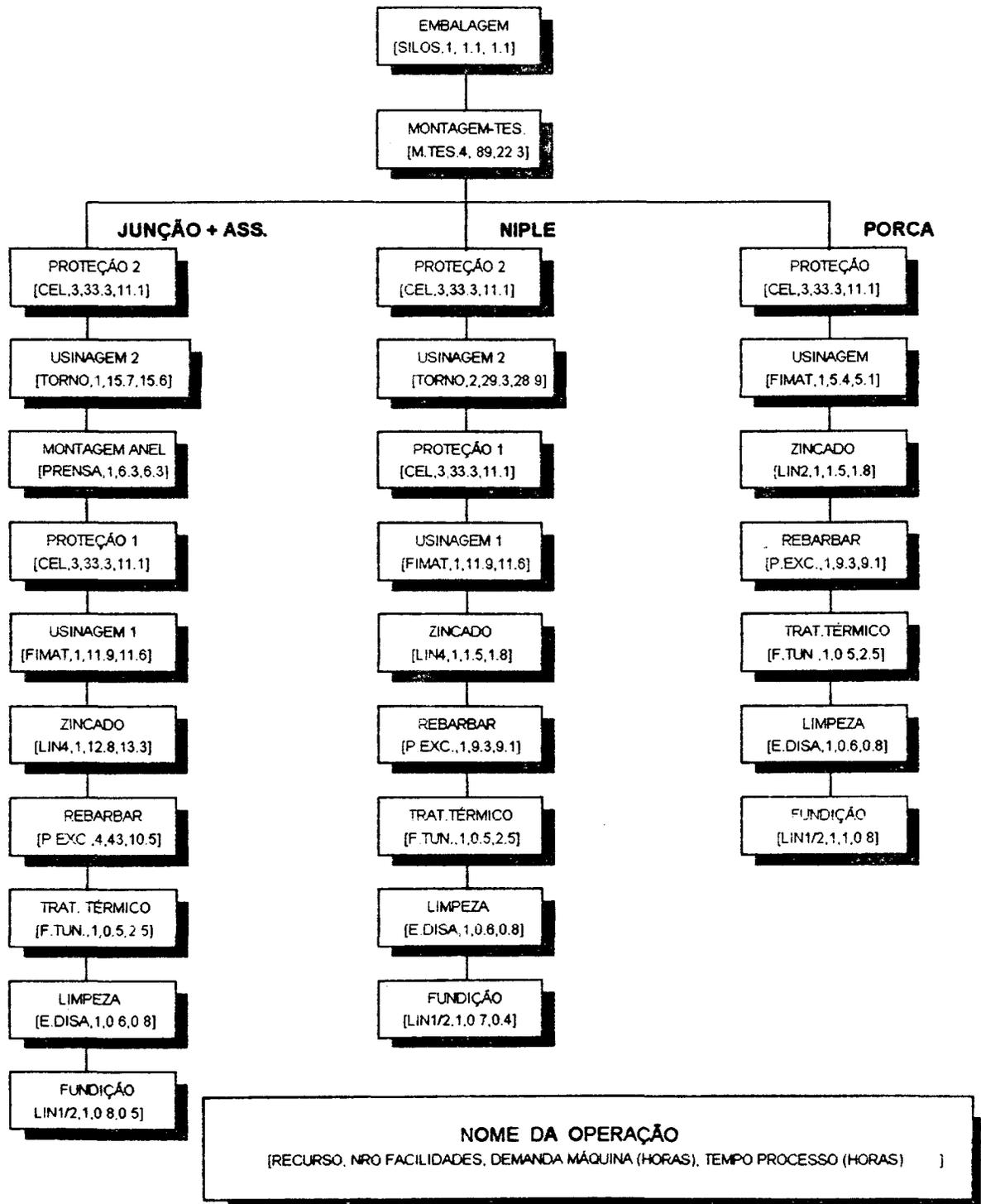


Fig. 25 - Modelo de demanda.

No planejamento de produção os modelos de demanda de capacidade análogos ao modelo apresentado anteriormente, juntamente com o de disponibilidade de capacidade de carga, são utilizados para auxiliar na tomada de decisões desta área.

#### 4.5. CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS APRESENTADOS

Da forma como o modelo de estrutura de produto é proposto não existiria maneira de utilizar processos comuns para outros tipos de produtos. Esse problema é resolvido definindo estruturas de produto para subprodutos para obter sistemas como o exemplo mostrado na figura 26, onde são substituídas sub-estruturas do modelo apresentado na figura 23 por subprodutos.

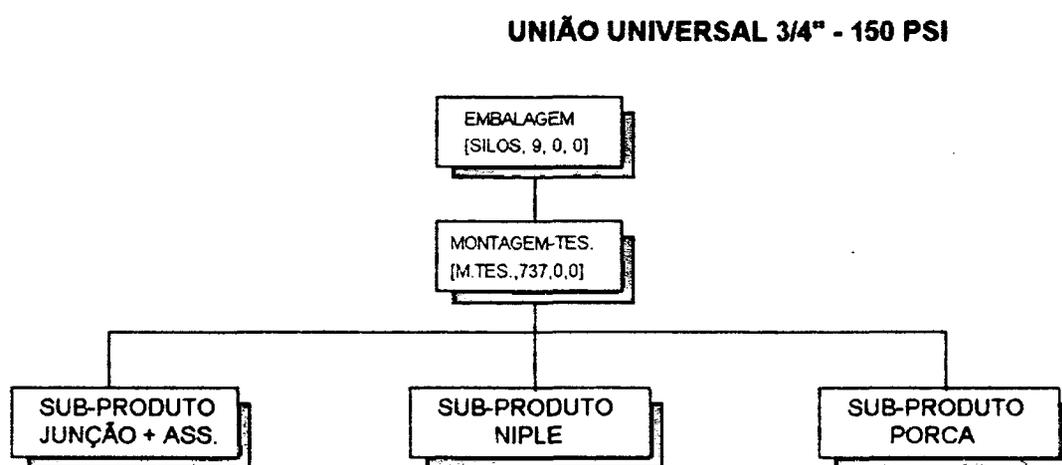


Fig. 26 - Sistema misto de representação.

A propriedade de haver para cada operação um tempo adicional de operação e um tempo de operação no recurso, permite que algumas operações do modelo de estrutura de produto possam ser omitidas, modelando duas ou mais operações contínuas como uma única operação, colocando o tempo do recurso crítico e o tempo devido às operações não consideradas como uma constante (tempo adicional de processo). Esta redução pode ser feita quando os recursos envolvidos nas operações omitidas têm altas capacidades de processamento e nunca chegarão a ser recursos críticos.

Essa propriedade também pode ser utilizada para considerar os tempos de transporte e movimentação de produto em processo, considerando-se este tempo como tempo adicional de processo (figura 27).

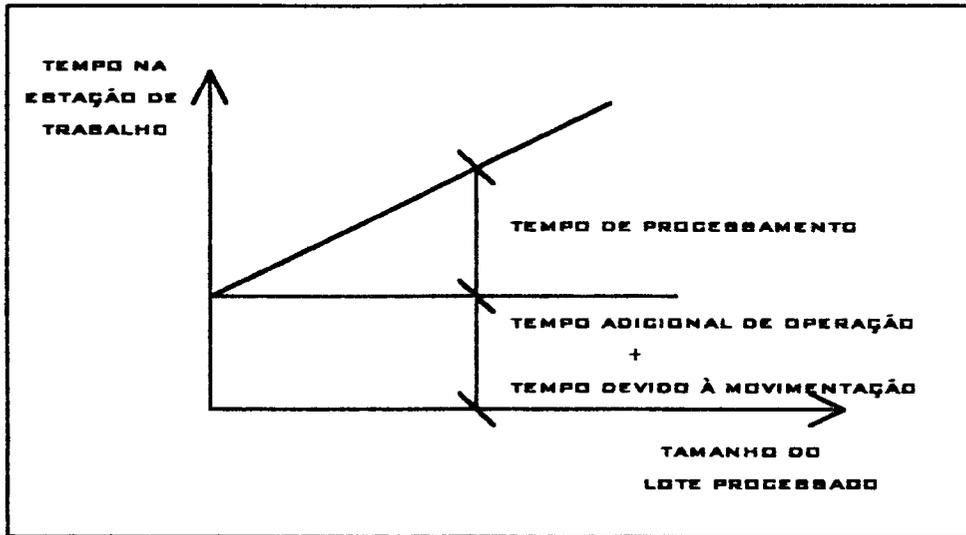


Fig. 27 - Tempos do produto na estação de trabalho.

Quando existir uma ordem de produção, o sistema considerará que o processamento será feito de maneira contínua. No caso de se definir que a ordem de produção deve ser processada em duas ou mais etapas (isto é produzir uma quantidade de produtos num intervalo de tempo e outra quantidade num outro intervalo de tempo diferente do primeiro), deverá ser gerada uma ordem de produção para cada grupo de produtos processados.

O modelo de disponibilidade de máquina é considerado um modelo fixo. Isto significa que, para períodos de tempo do mesmo comprimento, ter-se-á uma quantidade constante de horas-máquina disponíveis. Os problemas de manutenção corretiva são considerados utilizando um fator de correção na disponibilidade de máquina, e as operações de manutenção preventiva são consideradas mediante a geração de ordens de produção fictícias que utilizam um único recurso.

## CAPÍTULO 5

### LÓGICA DO SISTEMA DE PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO

A lógica do sistema proposto para auxiliar na programação de produção pode ser descrita em três partes (Figura 28).

A primeira parte é a alocação de tarefas em máquinas; a segunda, de balanceamento ou distribuição de carga no tempo em estações de trabalho; e a terceira, do balanceamento do sistema quando existir estações de trabalho que não têm a alternativa de serem balanceadas sem evitar atraso.

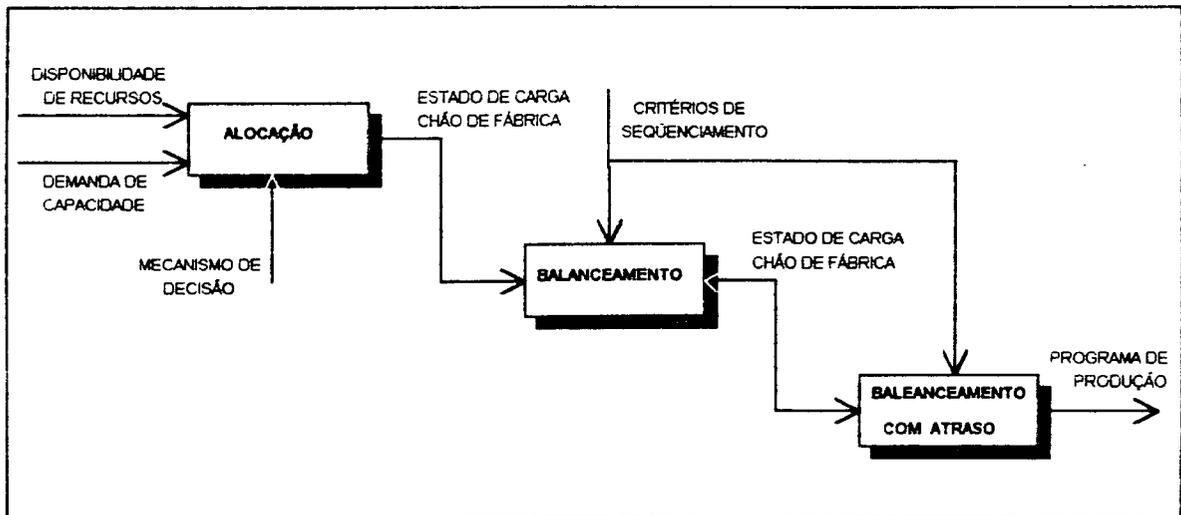


Fig. 28 - Lógica do sistema de planejamento de produção.

Até o capítulo anterior foram descritos os modelos com os quais o planejamento de produção trabalha. Nesta parte serão descritas as formas como eles são processados para planejar o "chão de fábrica" utilizando alguns dos critérios apresentados no capítulo 3.

### 5.1 ALOCAÇÃO DE TAREFAS NO "CHÃO DE FÁBRICA"

A alocação consiste em definir onde serão processadas as tarefas necessárias para cumprir uma ordem de produção. Este processo bem poderia ser definido como carga do sistema produtivo. Segundo o sistema proposto, a alocação é dividida em duas partes: alocação de tarefas a estações de trabalho e alocação de tarefas nas máquinas da estação de trabalho.

Neste processo, o sistema trabalha com o modelo de demanda de capacidade para cada operação, confrontando-o com o de disponibilidade de máquina. Esta confrontação permite selecionar os postos operativos que contam com capacidade para processar a tarefa, verificando se existe capacidade para processá-la.

A seleção é simplesmente a listagem das linhas da matriz de disponibilidade (figura 29) que possuem valor de disponibilidade de recurso maior do que zero.

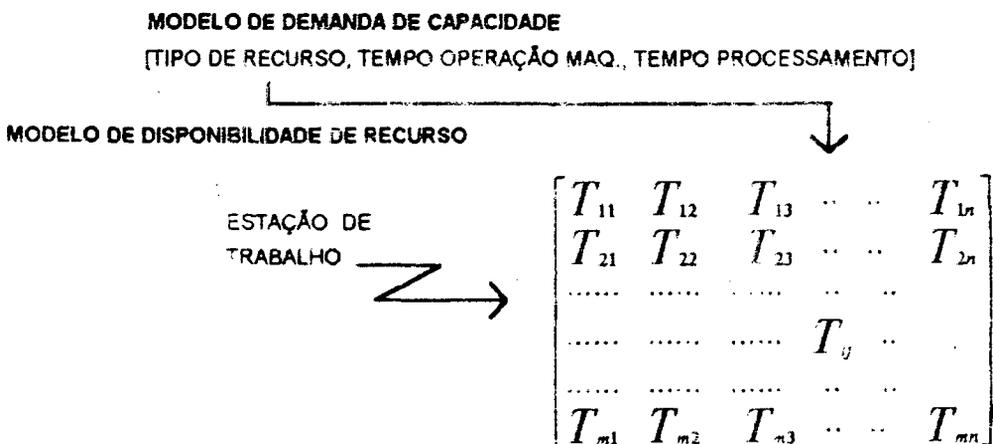


Fig. 29 - Matriz de disponibilidade de recursos.

Uma vez selecionadas as possibilidades de processamento de tarefa, compara-se a necessidade de tempo de operação de máquina com o tempo de carga acumulado da máquina. Esse tempo acumulado de carga por estação de trabalho pode ser representado por gráficos similares ao mostrado na figura 30.

Segundo este gráfico, uma nova operação poderá ser inserida no programa da estação de trabalho se, após inserir a operação, não for ultrapassada a capacidade de

processamento da mesma para nenhum dia posterior ao dia planejado. Esse fato pode ser modelado da seguinte forma:

$$Tdem_k \leq \min[Disp_n - Tdem_n]$$

Onde:

- $k$ : dia solicitado do recurso;
- $n$ : dia posterior ao dia solicitado do recurso ( $n > k$ );
- $Tdem_k$ : capacidade demandada pela operação no dia  $k$ ;
- $Tdem_n$ : demanda acumulada do recurso até o dia  $n$ ;
- $Disp_n$ : disponibilidade acumulada do recurso até o dia  $n$ .

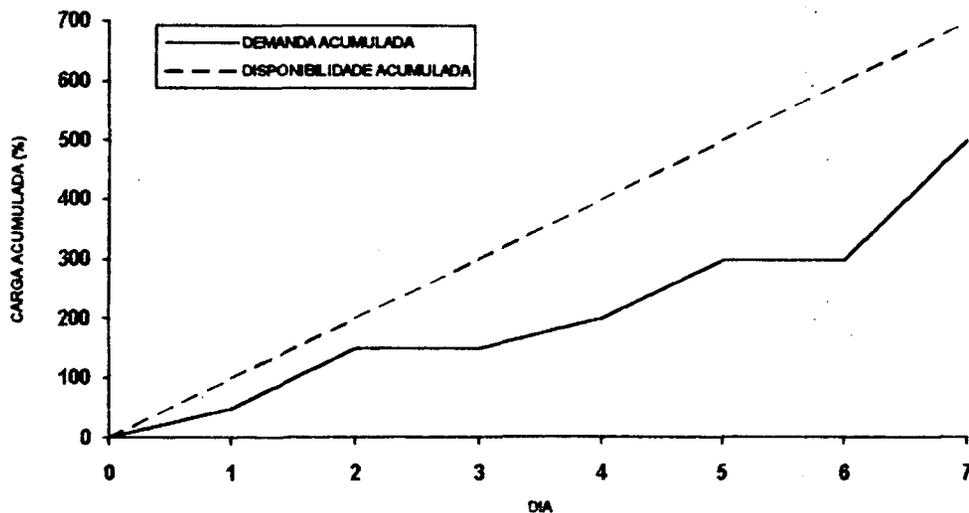


Fig. 30 - Demanda e disponibilidade acumulada do recurso no tempo.

Após esta segunda seleção é possível obter-se a relação de possibilidades para processamento de cada operação para cada ordem de produção. No caso de existir uma única possibilidade de processamento o sistema carrega automaticamente a operação na estação de trabalho. Se existir duas ou mais estações de trabalho que possibilitem a execução de determinada operação, haverá necessidade do critério do programador de produção para determinar em que estação de trabalho poderia ser levado a cabo o processo.

Após a seleção da estação ou estações de trabalho em que a operação analisada é processada, é decidido o número de facilidades ou máquinas que processariam a tarefa.

Também, se neste caso existir uma única possibilidade, a alocação é feita automaticamente. Se não for assim, será necessário também o critério do programador ou de algum sistema especialista com a capacidade de armazenar regras heurísticas para decisões de escolha destes parâmetros de produção. Este processo de alocação de recursos pode ser resumido no diagrama da figura 31.

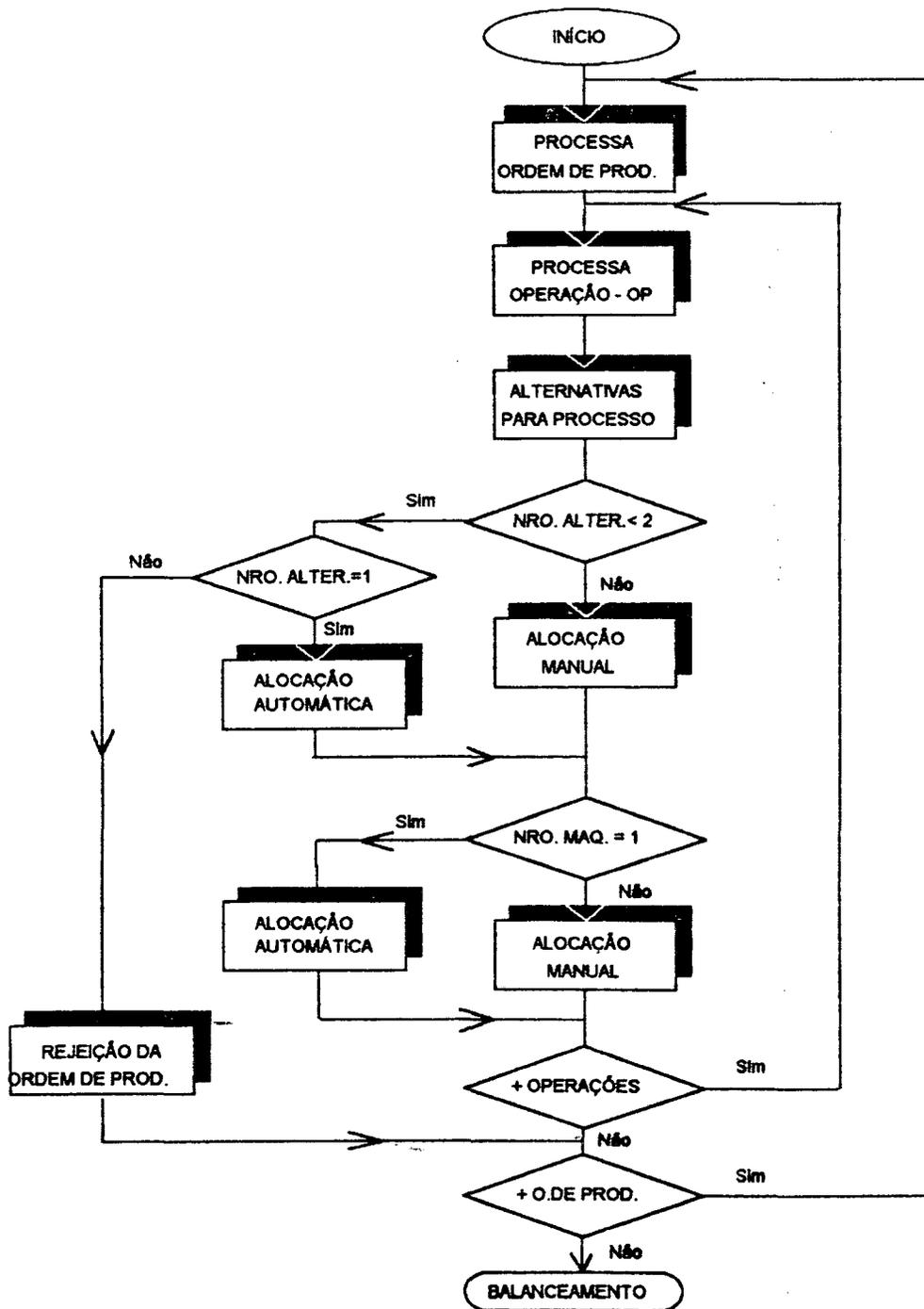


Fig. 31 - Lógica da alocação de tarefas no "chão de fábrica".

Nessa figura tem-se uma primeira etapa onde é selecionada uma ordem de produção, alocando para cada operação da ordem estações de trabalho e máquinas para processá-las. Para estas duas decisões (alocação de estações de trabalho e número de máquinas) precisa-se de um mecanismo de decisão, que pode ser manual no caso de ser fornecido pelo programador de produção, ou automático no caso de existir uma única possibilidade de alocação da tarefa ou quando há um sistema especialista que permita automatizar a decisão das estações de trabalho e o número de máquinas da estação que serão destinadas ao processamento de determinada tarefa.

## 5.2. HEURÍSTICAS NA ALOCAÇÃO DE TAREFAS

O processo de alocação de operações em máquinas tem duas etapas onde intervêm decisões tomadas pelo programador de produção. Muitas vezes o processo de carregar determinado tipo de trabalho a alguma linha ou estação de trabalho específica não necessita uma tomada de decisão, pois pode ser que a alocação seja um dado de processo de produto. Nesses casos, pode ser armazenado junto com a estrutura de produto, a informação onde se especifica a estação de trabalho para determinado tipo de operação. Desta maneira o sistema de alocação de tarefas evitaria procurar possibilidades para a execução de determinada operação alocando-a diretamente na estação de trabalho especificada.

Uma outra forma de automatizar o processo de distribuição de carga é utilizar o critério de alocar operações às máquinas que possuam menores níveis de carga de trabalho. Desta forma, por exemplo, na figura 32 mostra-se o gráfico de carga acumulada para duas estações de trabalho com a mesma capacidade. Se existir uma operação que precisa do recurso antes do quinto dia, a estação 1 será mais conveniente; entretanto, se a demanda do recurso é após esse dia, o sistema designará a estação 2 para o processamento da tarefa.

Assim como é determinada a estação de trabalho também poderia ser determinado o número de facilidades ou máquinas destinadas a determinadas operações segundo os níveis de produção. Dessa maneira, na tabela 2 pode ser representado o número de

máquinas alocadas para diferentes níveis de carga numa estação que possui 4 máquinas iguais, oferecendo cada uma 20 horas de disponibilidade diária.

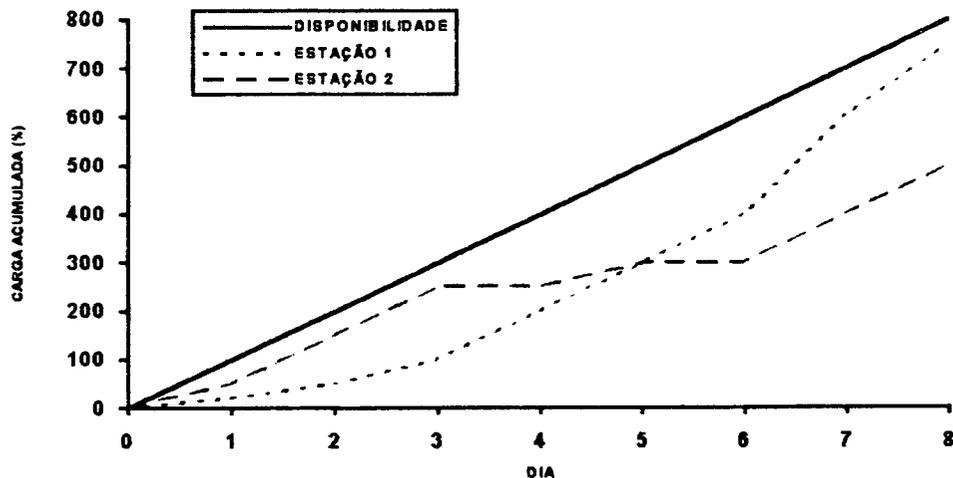


Fig. 32 - Gráfico de carga acumulada para duas estações de trabalho.

TABELA 2 - Exemplo de alocação de máquinas segundo demanda de recurso.

DEMANDA DO RECURSO	NRO. MÁQUINAS ALOCADAS
Até 20 horas	1
De 20 até 40 horas	2
De 40 até 60 horas	3
Mais de 60 horas	4

Com um armazenamento com este tipo de informação para alocação de operações às estações de trabalho e determinação de número de processadores, o sistema trabalharia de maneira automática sem solicitar uma entrada de dados manual cada vez que encontrasse diversas possibilidades para alocação de recursos.

### 5.3 GERAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE GANTT

Os diagramas de Gantt mostram as datas de começo e finalização das operações. A data de começo é o primeiro dia de solicitação do recurso denominada no sub-item 5.1 como *k*.

Para *batch* mínimos de processamento, as datas de começo das operações são calculadas começando da última operação a ser feita:

$$k = DE - (Tdem + Tao)$$

onde:

- k*: primeiro dia de solicitação do recurso;
- DE*: data de entrega da operação;
- Tdem*: tempo demandado de máquina pela operação;
- Tao*: tempo adicional de operação.

A data de entrega do produto é a data de entrega da última operação a ser processada, e a data de liberação da ordem de produção é o primeiro dia de solicitação do recurso para a primeira operação do processo.

Quando é processado um *batch* mínimo, o primeiro dia demandado para cada operação difere da data de entrega da operação precedente apenas no tempo adicional de operação (*Tao*) que pode ser entendido como a necessidade de tempo que um *batch* de produtos precisa para passar de uma estação de trabalho a outra.

Quando se processam *batch* maiores ao mínimo de processamento pode existir sobreposição de operações ou processamento simultâneo de duas operações consecutivas para uma mesma ordem de produção. Neste caso, para duas operações consecutivas as datas de começo das operações anteriores são calculadas como é mostrado na figura 33.

Quando em duas operações consecutivas o tempo total de processamento<sup>7</sup> da primeira operação é menor do que o tempo de processamento da segunda operação, as datas de começo de ambas as operações têm uma diferença igual ao tempo de processamento de um *batch* mínimo na primeira operação somado a uma vez o tempo adicional da mesma operação.

Quando o tempo de processamento da primeira operação é maior do que o tempo de processamento da segunda operação, as datas de finalização de ambas as operações

---

<sup>7</sup>Utiliza-se o termo de tempo de processamento de operação para designar ao tempo demandado do recurso dividido por a quantidade de máquinas ou processadores simultâneos.

estão defasadas em um tempo igual ao tempo total de processamento de um *batch* mínimo na segunda operação somado a uma vez o tempo adicional de operação da primeira operação.

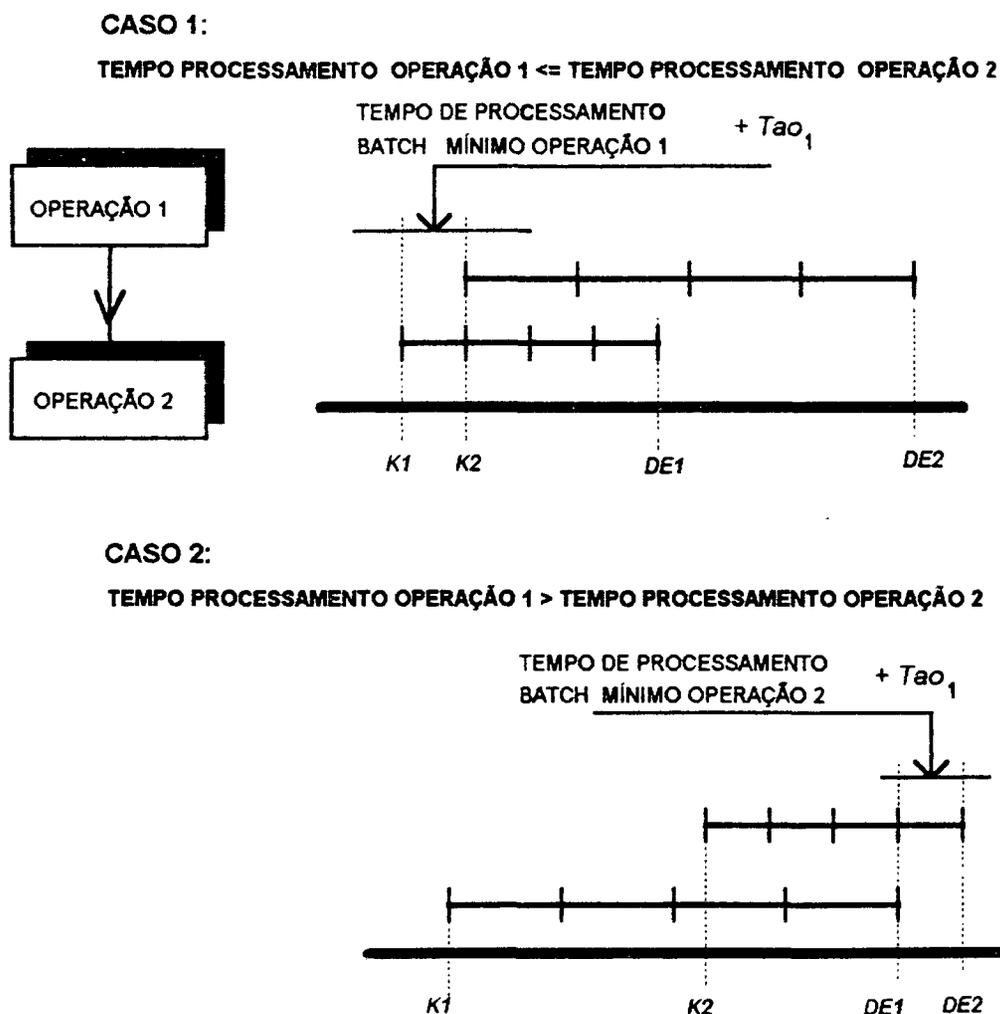


Fig. 33 - Geração dos diagramas de Gantt para as operações.

O sistema para alocação de datas de começo do processamento é feito começando da última operação até as operações iniciais como se vê na figura 34. Isso faz com que o *lead time*, após da alocação, seja mínimo e a folga da ordem de produção, nula. Estas datas são armazenadas numa base de dados onde se especificará a estação de trabalho, o tipo de recurso, o produto, a operação do processo, a data de demanda do recurso e as horas de carga alocadas na estação de trabalho.

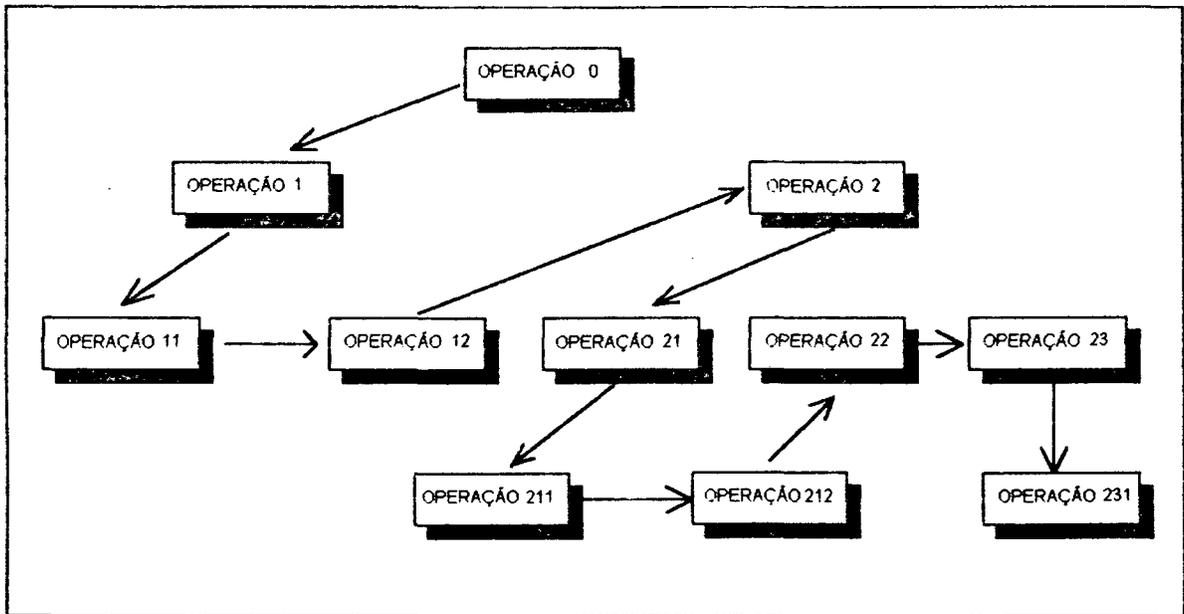


Fig. 34 - Seqüência para alocação de datas de processamento nas operações.

Após a alocação das ordens de produção na fábrica, será obtido o estado de carga de cada estação de trabalho a partir do qual será feito o balanceamento do "chão de fábrica".

#### 5.4. BALANCEAMENTO DE ESTAÇÕES DE TRABALHO

Como foi visto no terceiro capítulo, os sistemas produtivos balanceados tem boa performance a nível de "chão de fábrica". Para completar um bom balanceamento, além de distribuir carga de trabalho, precisa-se arranjar a seqüência de tarefas em máquinas: Após a alocação de tarefas em estações de trabalho tem-se os postos operativos com diferentes níveis de carga num espaço de tempo, podendo ter em alguns dias solicitações de capacidade que ultrapassem a disponibilidade diária de algum tipo de recurso. Isso pode ser graficamente observado na figura 35.

O sistema para balanceamento de tarefas proposto neste trabalho é resumido na figura 36 onde é observado que o balanceamento consiste em determinar o seqüenciamento de tarefas em estações de trabalho segundo dois critérios. Um critério global que consiste em

utilizar uma regra de seqüenciamento para determinar a ordem de processamento em estações críticas<sup>8</sup>, e um critério *lookback* e *lookforward*, que consiste em manter o seqüenciamento de ordens obtido no seqüenciamento de tarefas nas estações de trabalho críticas (na aplicação deste trabalho é utilizada a regra MLT<sup>9</sup>).

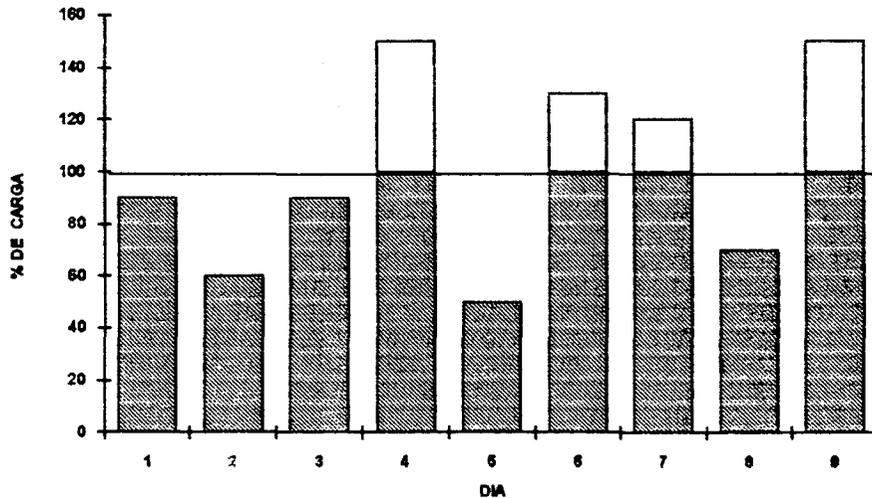


Fig. 35 - Nível de carga em estação de trabalho.

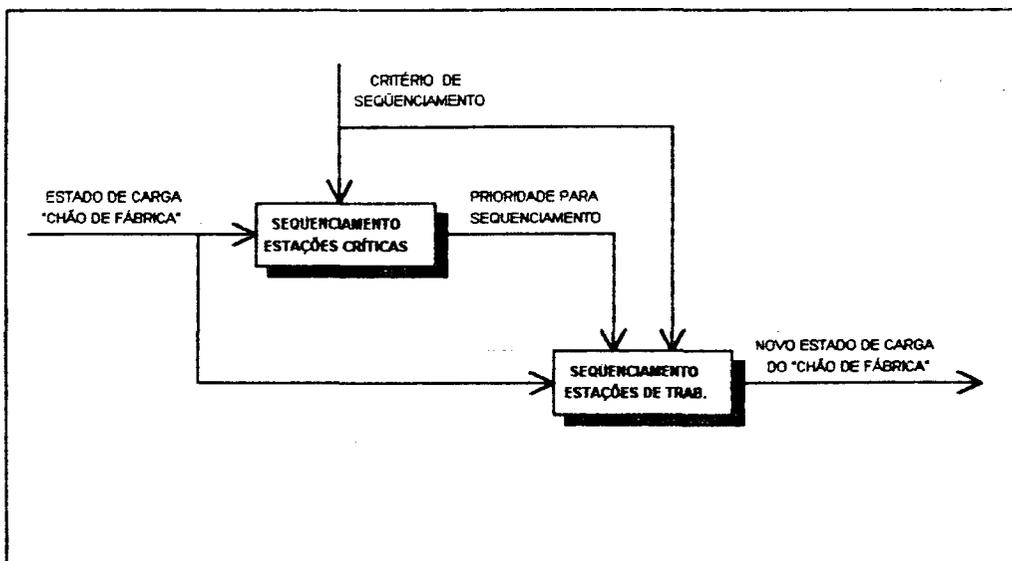


Fig. 36 - Sistema para balanceamento de carga no "chão de fábrica".

<sup>8</sup> Sendo estações de trabalho críticas aquelas que em determinados momentos estão com uma carga de trabalho acumulada próxima a disponibilidade nominal do recurso.

<sup>9</sup> A regra MLT (*Minimum Lead Time*), dá prioridade a trabalhos que tenham menores tempos totais de processamento nas diferentes etapas do roteiro de fabricação.

Dessa maneira, na aplicação deste trabalho, o seqüenciamento em cada estação de trabalho é realizado segundo a ordem de processamento nas estações de trabalho críticas e utilizando a regra MLT.

A seleção da estação de trabalho mais crítica é feita a partir do gráfico de carga acumulada (figura 37). A partir dele, é definido um parâmetro que serve como referência para analisar em que grau um posto operativo está carregado com respeito a algum tipo de recurso.

Este parâmetro é calculado para dia ou período de trabalho:

$$Par = \frac{Carga\_acumulada}{Disponibilidade\_acumulada}$$

Um valor deste parâmetro, próximo a unidade, significa que o posto está no seu limite de carga de trabalho.

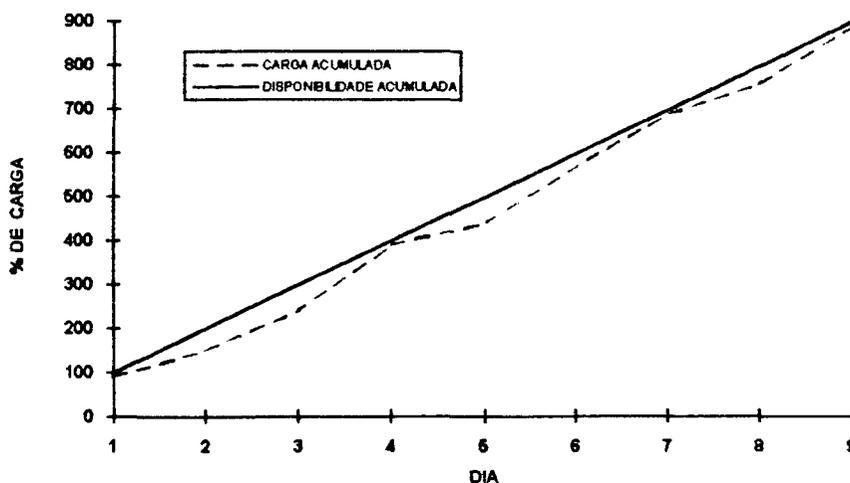


Fig. 37 - Nível de carga acumulada para uma estação de trabalho.

As estações de trabalho que tiveram este parâmetro de avaliação mais próximo à unidade para um período de trabalho são seqüenciadas inicialmente segundo a regra pre-estabelecida. Este seqüenciamento é resumido com o diagrama de fluxo da figura 38.

Após o término do planejamento da ordem de processamento de tarefas em estações de trabalho críticas, prossegue-se com a etapa seguinte que é determinar o seqüenciamento de operações nas demais estações de trabalho. Este sistema representado pelo diagrama de fluxo da figura 39 consiste basicamente em analisar os níveis de carga para cada

estação de trabalho e determinar a ordem de processamento segundo os seqüenciamentos obtidos nas estações críticas e segundo a regra pre-estabelecida para determinar a ordem de processamento nessas estações de trabalho, quando não existe relação entre as tarefas da estação crítica com as tarefas da estação analisada. Após a modificação da ordem de processamento em cada estação de trabalho são alteradas as datas de entrega das operações anteriores. Devido a isso a seleção de estações de trabalho para seqüenciamento é feita segundo o parâmetro de carga de cada estação de trabalho, isto é, começar pelas estações que estão mais carregadas e finalizar com as que menor índice de carga tiveram.

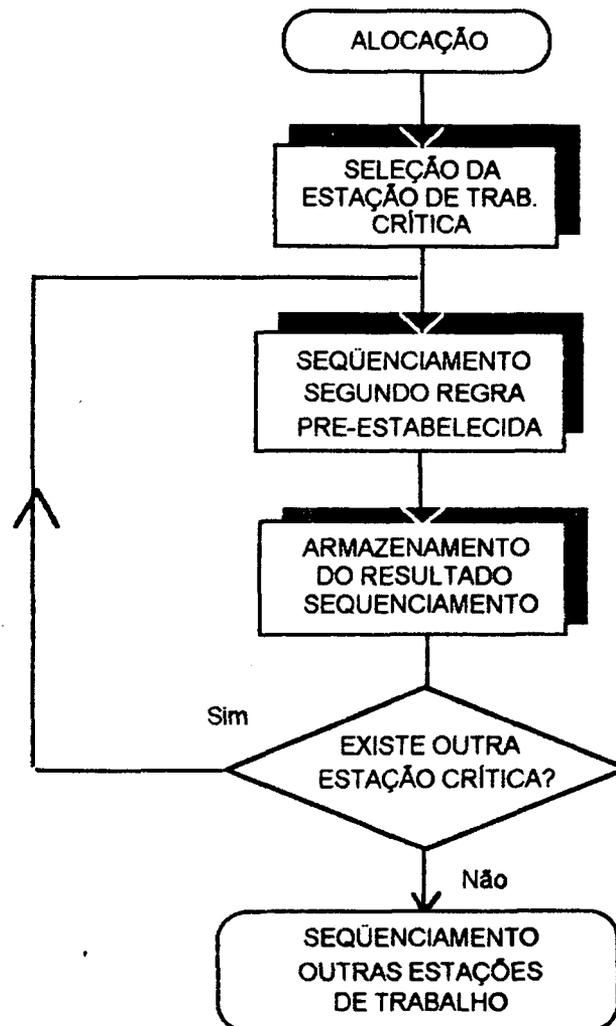


Fig. 38 - Seqüenciamento em estações de trabalho críticas.

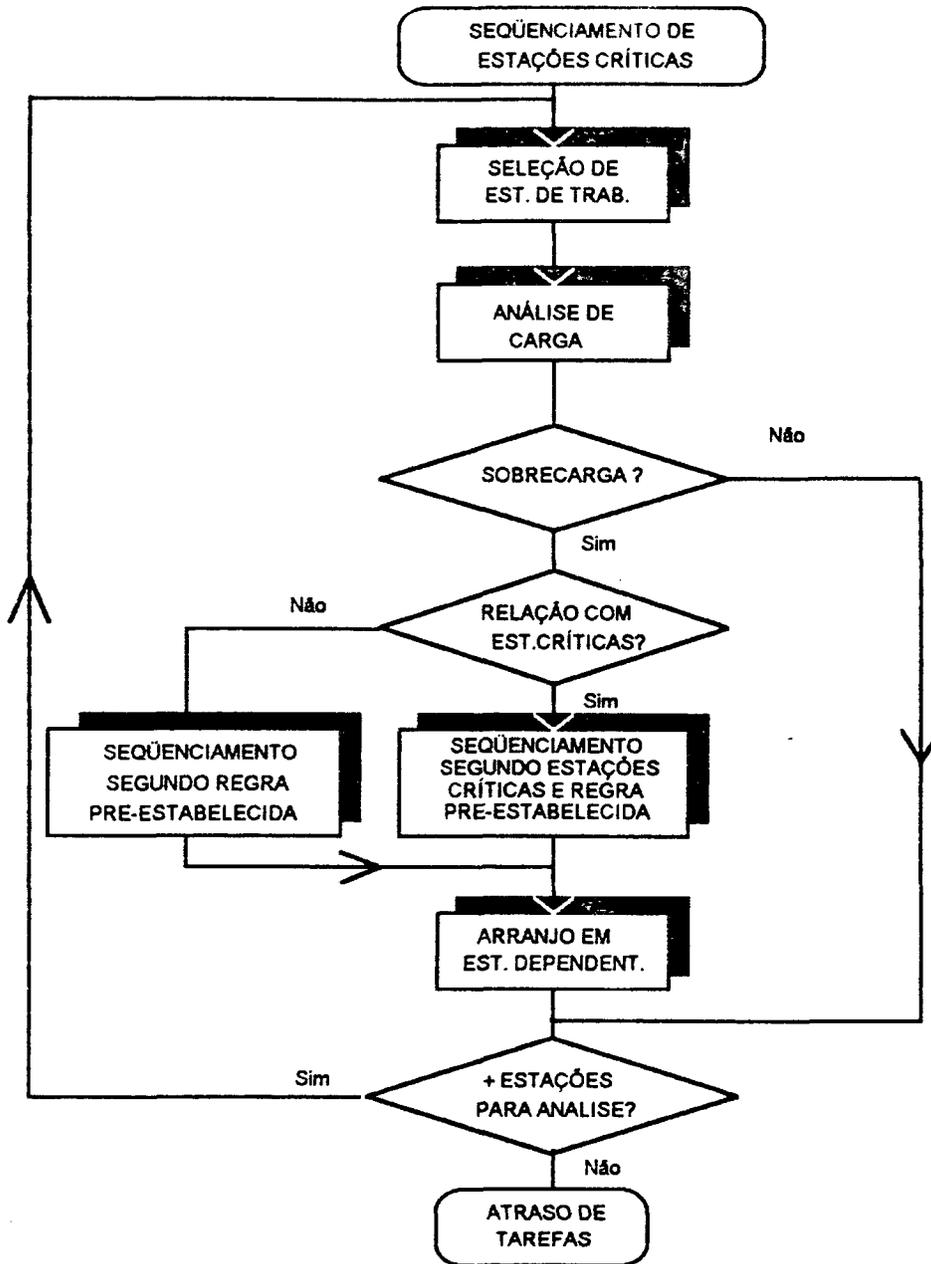


Fig. 39 - Lógica do balanceamento de carga em estações de trabalho.

## 5.5 ATRASO DE TAREFAS

O sistema proposto para avanço de tarefas no tempo pode não conseguir chegar a um balanceamento de carga em todas as máquinas. Quando isso acontecer, existirá uma sobrecarga de estações de trabalho nos primeiros períodos de operação (figura 40). Esse fato pode ocorrer devido a restrições que obrigam o sistema de produção a antecipar operações dependentes. Então, para este tipo de situações a única solução será atrasar tarefas.

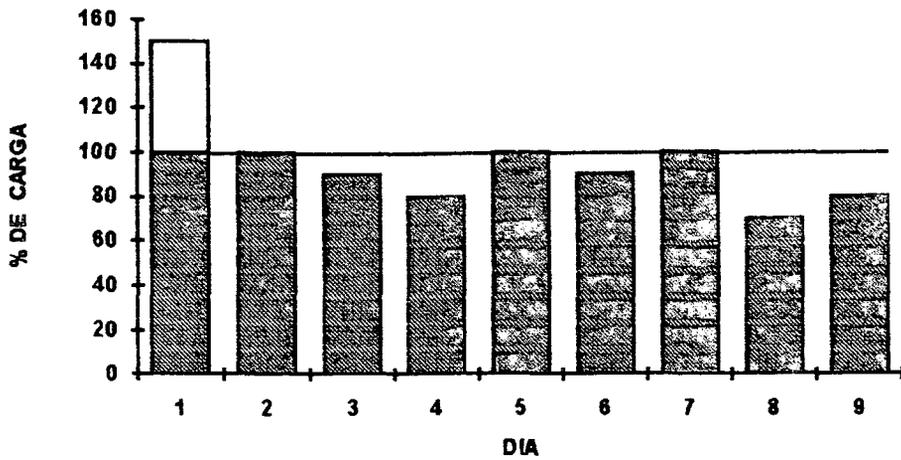


Fig. 40 - Estação de trabalho sem possibilidade de evitar atraso de operações.

O atraso de operações é realizado mantendo-se a ordem de processamento obtida nas etapas de seqüenciamento anteriores. Este procedimento é mostrado no diagrama de fluxo da figura 41. Após esta última fase, o programa de produção é gerado indicando datas de liberação, os tempos de processamento e datas de finalização de cada operação em cada estação de trabalho.

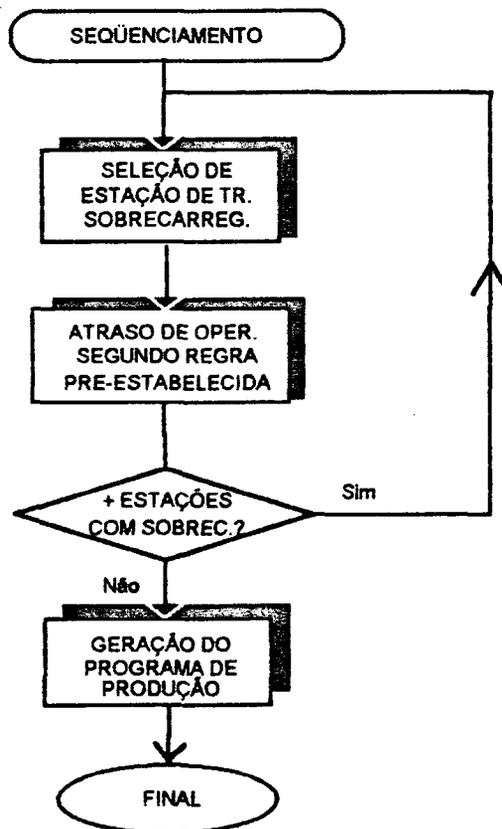


Fig. 41 - Atraso de operações em estações sobrecarregadas.

### 5.6. APLICAÇÃO DO SISTEMA - PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO

O sistema proposto foi aplicado numa infra-estrutura de fundição de ferro, onde vinte e seis máquinas<sup>10</sup> foram divididas em oito estações de trabalho resumidas na tabela 3. Na fundição foram também definidos oito tipos de recursos; três para diferentes processos de fabricação de machos (machos tipo A, B e C), dois para linhas de fundição de diferente propósito, um para fornos de tratamento e dois para tipos de linhas de acabamento diferentes (olear e pintar). Esses recursos são resumidos na tabela 4.

TABELA 3 - Divisão do "chão de fábrica" da fundição.

ATIVIDADE	ESTAÇÃO DE TRABALHO	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	NÚMERO DE MÁQUINAS
FABRICAÇÃO DE MACHOS	MACHARIA 1	EST 1	3
	MACHARIA 2	EST 2	3
	MACHARIA 3	EST 3	8
MOLDAGEM E FUNDIÇÃO	LINHA FUNDIÇÃO 1	EST 4	1
	LINHA FUNDIÇÃO 2	EST 5	1
TRATAMENTO TÉRMICO	FORNOS DE TRATAMENTO	EST 6	2
ACABAMENTO - OLEAR	LINHA DE OLEAR	EST 7	4
ACABAMENTO - PINTAR	LINHA DE PINTURA	EST 8	4

TABELA 4 - Recursos considerados na fundição.

CÓDIGO DO RECURSO	DESCRIÇÃO DO RECURSO
MA	PROCESSADOR DE MACHOS TIPO A - <i>SHELL CORMATIC_A</i>
MB	PROCESSADOR DE MACHOS TIPO B - <i>SHELL SHALCO U180</i>
MC	PROCESSADOR DE MACHOS TIPO C - <i>COLD BOX OSBORN</i>
LFL	LINHA DE FUNDIÇÃO LEVE
LFP	LINHA DE FUNDIÇÃO PESADA
FTT	FORNO DE TRATAMENTO TÉRMICO
AOL	LINHA DE ACABAMENTO - OLEAR
API	LINHA DE ACABAMENTO - PINTAR

<sup>10</sup>Nesta aplicação é considerado como máquina a um processador simples (Ex. máquina para fabricação de machos) ou a um grupo de processadores cuja configuração é em linha. (Ex. linha para fundição).

Sendo que as máquinas foram divididas em 8 estações de trabalho e 8 tipos de recursos, a representação da infra-estrutura é feita por uma matriz 8 x 8 (estações de trabalho x tipo de recurso). O resumo da configuração dessa fundição está representada na tabela 5.

TABELA 5 - Quantidade de máquinas por tipo de recurso em cada estação de trabalho

ESTAÇÃO DE TRABALHO	RECURSO							
	MA	MB	MC	LFL	LFP	FTT	AOL	API
EST 1	3	0	0	0	0	0	0	0
EST 2	0	3	0	0	0	0	0	0
EST 3	2	2	4	0	0	0	0	0
EST 4	0	0	0	1	0	0	0	0
EST 5	0	0	0	0	1	0	0	0
EST 6	0	0	0	0	0	2	0	0
EST 7	0	0	0	0	0	0	4	0
EST 8	0	0	0	0	0	0	0	4

Para esta aplicação considera-se que cada máquina tem uma disponibilidade diária de 15 horas. Assim, a disponibilidade por estação de trabalho e recurso fica conforme a tabela 6.

TABELA 6 - Disponibilidade de recursos em cada estação de trabalho.

ESTAÇÃO DE TRABALHO	RECURSO							
	MA	MB	MC	LFL	LFP	FTT	AOL	API
EST 1	45	0	0	0	0	0	0	0
EST 2	0	45	0	0	0	0	0	0
EST 3	30	30	60	0	0	0	0	0
EST 4	0	0	0	15	0	0	0	0
EST 5	0	0	0	0	15	0	0	0
EST 6	0	0	0	0	0	30	0	0
EST 7	0	0	0	0	0	0	60	0
EST 8	0	0	0	0	0	0	0	60

### 5.6.1 GERAÇÃO DE ORDENS DE TRABALHO

No sistema apresentado, são recebidas diferentes ordens de produção de diferentes tamanhos com quatro tipos de estruturas segundo os recursos demandados. As ordens foram carregadas num sistema que trabalha como linha de montagem, sendo que, cada ordem de produção é processada no máximo uma vez em cada estação de trabalho.

Dessa maneira os produtos gerados podem ter os quatro tipos de estruturas mostrados na figura 42. Nessa aplicação foram geradas dez ordens de trabalho com um prazo de entrega de 8 dias. Elas são resumidas na tabela 7, que define os tempos de demanda de capacidade de cada ordem e o número de *batch* em que a ordem seria processada.

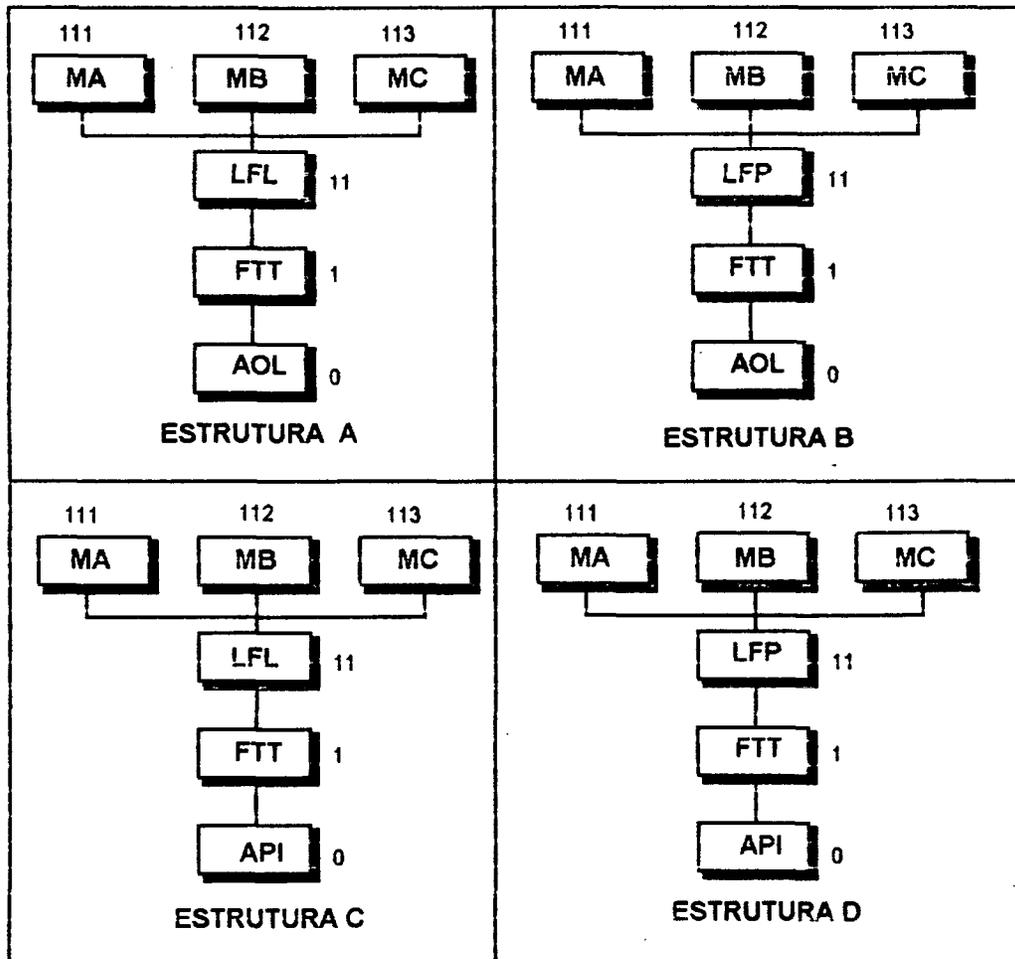


Fig. 42 - Estruturas de produto processadas no sistema.

TABELA 7 - Demanda de tempo de recurso das ordens de trabalho carregadas no sistema.

ORDENS COM ESTRUTURA DE PRODUTO A

ORDEM DE PRODUÇÃO	NÚMERO DE BATCHS	RECURSO					
		MA	MB	MC	LFL	FTT	AOL
9	1	0	0	0	9	0	30
10	3	99	0	0	20	37	0

ORDENS COM ESTRUTURA DE PRODUTO B

ORDEM DE PRODUÇÃO	NÚMERO DE BATCHS	RECURSO					
		MA	MB	MC	LFP	FTT	AOL
2	1	0	45	22	8	11	0
3	1	40	0	42	11	0	0
6	3	0	103	86	26	34	128
7	3	0	111	0	25	30	0

## ORDENS COM ESTRUTURA DE PRODUTO C

ORDEM DE PRODUÇÃO	NÚMERO DE BATCHS	RECURSO					
		MA	MB	MC	LFL	FTT	API
1	1	39	0	0	12	14	35
5	2	66	0	0	20	0	76
8	1	0	0	33	10	0	41

## ORDENS COM ESTRUTURA DE PRODUTO D

ORDEM DE PRODUÇÃO	NÚMERO DE BATCHS	RECURSO					
		MA	MB	MC	LFP	FTT	API
4	1	34	46	0	9	11	42

## 5.6.2. ALOCAÇÃO DE CARGA NAS ESTAÇÕES DE TRABALHO

Após a definição de um grupo de 10 ordens de trabalho no sistema, elas são alocadas nas estações de trabalho segundo as datas de entrega. A partir dos tempos de processamento e tempo adicional de operação<sup>11</sup>, são calculadas as datas de entrega para cada operação de cada ordem.

Assim, por exemplo, para uma ordem número 4 ser processada num único *batch*, as datas de entrega de cada operação são apresentadas na tabela 8 e o diagrama de Gantt é mostrado pela figura 43.

Para uma ordem processada em mais de um *batch* como é a ordem número 6, o diagrama de Gantt das operações está representado na figura 44, e as datas de entrega são mostradas na tabela 9.

TABELA 8 - Cronograma de processo da ordem 4

ESTAÇÃO DE TRABALHO	RECURSO	NÚMERO MÁQUINAS	DATA DE LIBERAÇÃO DIA - HORA	DATA DE ENTREGA DIA - HORA	TEMPO DE PROCESSO <sup>12</sup> (HORAS)
EST 8	API	2	6 - 9	8 - 0	21
EST 6	FTT	1	5 - 11	6 - 7	11
EST 5	LFP	1	5 - 0	5 - 9	9
EST 3	MA	2	3 - 11	4 - 13	17
EST 3	MB	2	3 - 5	4 - 13	23

<sup>11</sup>Nesta aplicação é considerado um tempo adicional constante igual a 2 horas que representa o tempo que precisa um *batch* para ser transportado de uma estação de processamento para outra.

<sup>12</sup>As horas de processamento são as horas demandadas do recurso divididas pelo número de processadores.

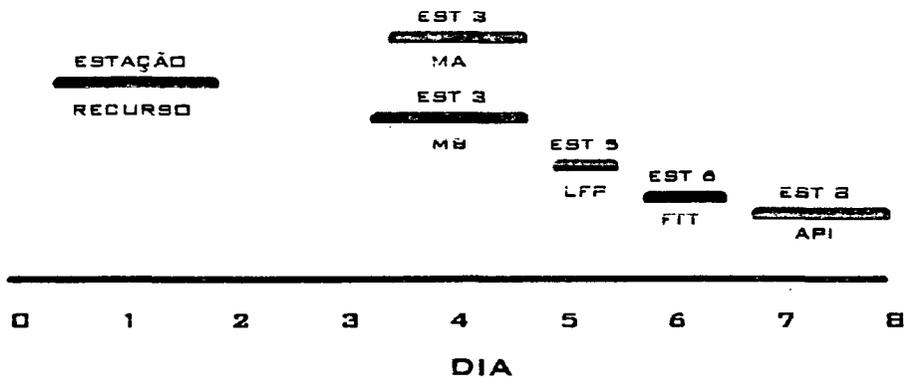


Fig. 43 - Diagrama de Gantt para a ordem número 4.

TABELA 9 - Cronograma de processo da ordem 6

ESTAÇÃO DE TRABALHO	RECURSO	NÚMERO MÁQUINAS	DATA DE LIBERAÇÃO DIA - HORA	DATA DE ENTREGA DIA - HORA	TEMPO DE PROCESSO (HORAS)
EST 7	AOL	4	5 - 11	8 - 0	34
EST 6	FTT	1	4 - 13	7 - 2	34
EST 5	LFP	1	4 - 2	5 - 13	26
EST 2	MB	3	2 - 8	5 - 2	35
EST 3	MB	3	3 - 3	5 - 2	29

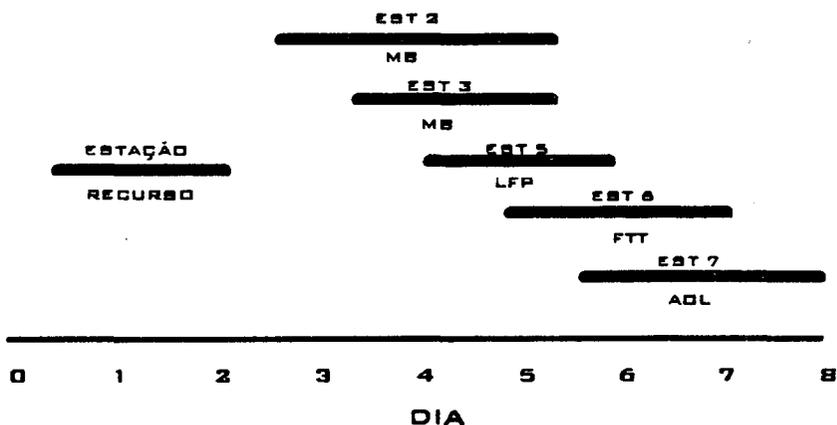


Fig. 44 - Diagrama de Gantt para a ordem número 6.

Após a alocação de datas de liberação e entrega nas estações de trabalho, é estabelecido o estado de carga de cada recurso em cada estação de trabalho. Os gráficos, que representam o estado inicial de carga de cada estação de trabalho e carga acumulada com respeito a capacidade de processamento, são similares aos das figura 45 e 46 respectivamente, onde se mostram os gráficos para a estação de trabalho EST 2 (Recurso MB). Os gráficos das outras estações de trabalho são mostrados no anexo 1.

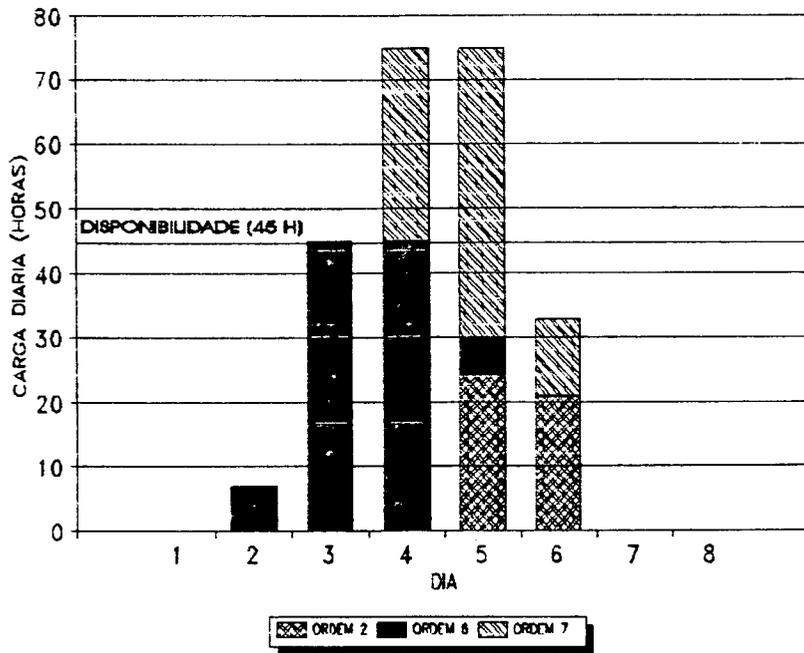


Fig. 45 - Estado de carga inicial da estação EST 2 - Recurso MB.

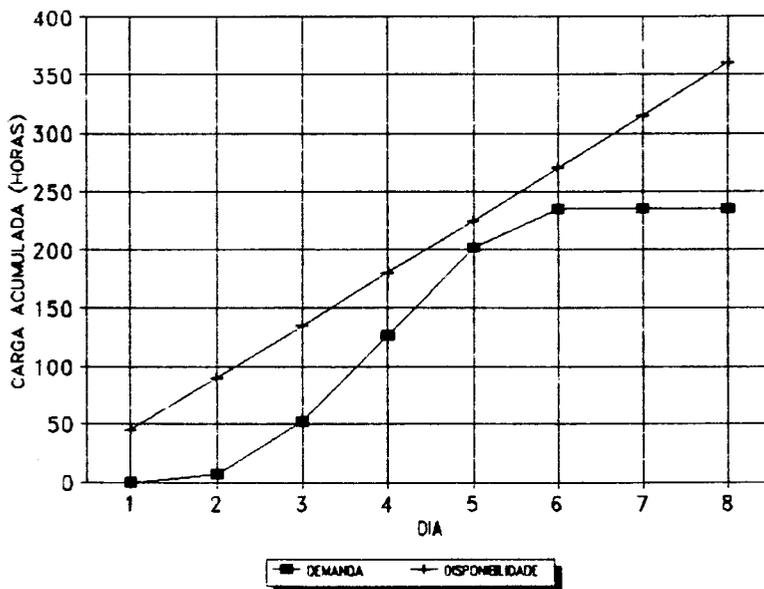


Fig. 46 - Gráfico de carga acumulada da estação EST 2 - Recurso MB

### 5.6.3. DETERMINAÇÃO DOS GARGALOS DO SISTEMA

Como foi explicado anteriormente, o gargalo é determinado segundo os gráficos de carga acumulada, a partir dos quais é encontrada a estação de trabalho cuja carga de

trabalho acumulada está mais próxima da disponibilidade acumulada do recurso que a estação de trabalho oferece. A partir dos gráficos de carga acumulada (similar ao da figura 46) incluídos no anexo 1, são mostrados os parâmetros de referência (tabela 10) para localizar as estações de trabalho que se comportariam como gargalos na situação analisada.

TABELA 10 - Parâmetros máximos de carga nas estações de trabalho.

ESTAÇÃO	RECURSO	PARÂMETRO DE CARGA	DIA
EST 1	MA	0.92	4
EST 2	MB	0.90	5
EST 3	MA	0.28	4
EST 3	MB	0.21	6
EST 3	MC	0.50	6
EST 4	LFL	0.79	6
EST 5	LFP	0.75	7
EST 6	FTT	0.65	7
EST 7	AOL	0.38	7
EST 8	API	0.46	7

Conforme esses parâmetros de carga para cada estação de trabalho, as estações EST 1 (Recurso MA) e EST 2 (Recurso MB) são as que maior carga acumulada têm para o período estudado.

#### 5.6.4. SEQÜENCIAMENTO DE OPERAÇÕES NAS ESTAÇÕES DE TRABALHO

O balanceamento de estações de trabalho é feito começando a partir da estação de trabalho mais crítica (Estação EST 1), posteriormente são balanceadas as demais estações de trabalho até chegar a estação que possui menor índice de carga. Nessa estação as operações devem ser processadas segundo a tabela 11, figura 47.

TABELA 11 - Estado inicial de carga da estação EST 1 - Recurso MA

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME <sup>13</sup>	DATA DE ENTREGA	
		DIA	HORA
1	13	4	10.5
5	22	5	3
10	33	5	10

<sup>13</sup>Para este ordenamento, *lead time* é considerado como a soma do tempo das operações que antecedem a tarefa analisada incluída a operação de processamento na estação de trabalho estudada.

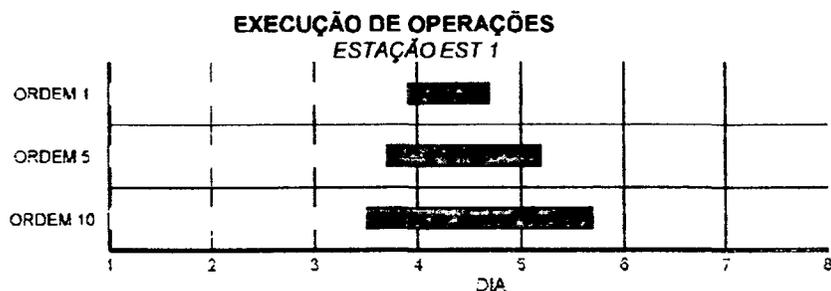


Figura 47 - Programação inicial da estação de trabalho EST 1

De acordo com a data de entrega, a última operação a ser processada será a correspondente a ordem de trabalho 10. Se a operação correspondente a ordem 10 for antecipada, o parâmetro de carga da estação de trabalho aumentará devido ao fato de que inicialmente, têm-se até a décima hora do quinto dia para cumprir com as três operações e, antecipando a operação da ordem 10, ter-se-á até a terceira hora do quinto dia para cumprir com as três operações programadas e evitar atrasos. Nesta aplicação se está utilizando a regra de executar antes as ordens que menor *lead time* acumulado tiveram. É devido a esse motivo que a operação da ordem 1 é antecipada com respeito a operação da ordem 5. Finalmente, a programação da estação de trabalho EST 1 fica como é mostrado na tabela 12, figura 48.

TABELA 12 - Seqüenciamento de operações na estação EST 1 - Recurso MA

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO <sup>14</sup>
		DIA	HORA	
1	1	1	15	40.5
5	2	3	7	26
10	3	5	10	0

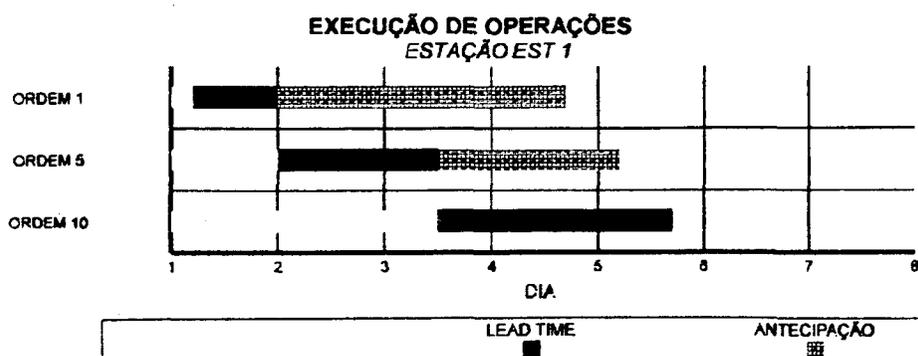


Figura 48 - Programação da estação de trabalho EST 1

<sup>14</sup>Esta antecipação é a diferença da data prevista inicialmente para o início de processamento da tarefa com a data de liberação programada. Ela será o limite de antecipação de data para as operações seguintes.

Analogamente ter-se-ia para a estação EST 2 o estado inicial de carga da tabela 13, figura 49.

TABELA 13 - Estado inicial de carga da estação EST 2 - Recurso MB

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME	DATA DE ENTREGA	
		DIA	HORA
2	15	6	7
6	34.3	5	2
7	29	6	4

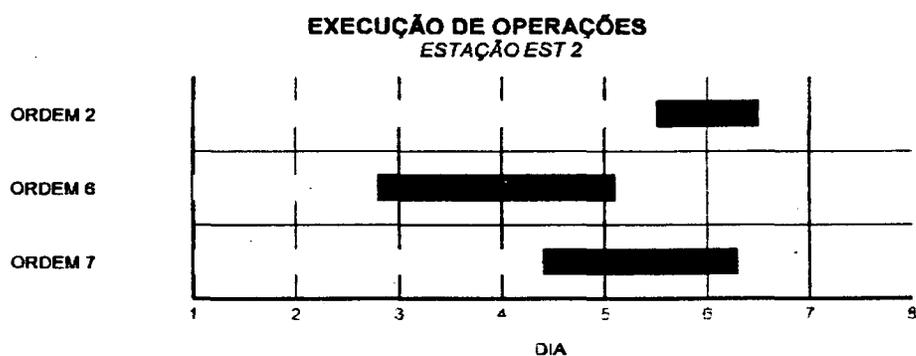


Figura 49 - Programação inicial da estação de trabalho EST 2

Para a estação EST 2 o ordenamento de operações a serem processadas é feito segundo a data de entrega. A última operação a ser processada será a correspondente a ordem de trabalho 2, pois ela tem como data de entrega o dia 6 na sétima hora, enquanto que a operação da ordem 7 tem o mesmo dia mais a quarta hora. A operação correspondente à ordem 7 então passa a ter como data de entrega o dia 5 e na sétima hora que é também após a data de entrega da operação correspondente a ordem 6 (dia 5 na segunda hora). Então primeiro seria processada a ordem 6, em segundo lugar a ordem 7 e o seqüenciamento fica como é mostrado na tabela 14, gráfico 50.

TABELA 14- Seqüenciamento de operações na estação EST 2 - Recurso MB

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
6	1	3	8	24
7	2	5	7	12
2	3	6	7	0

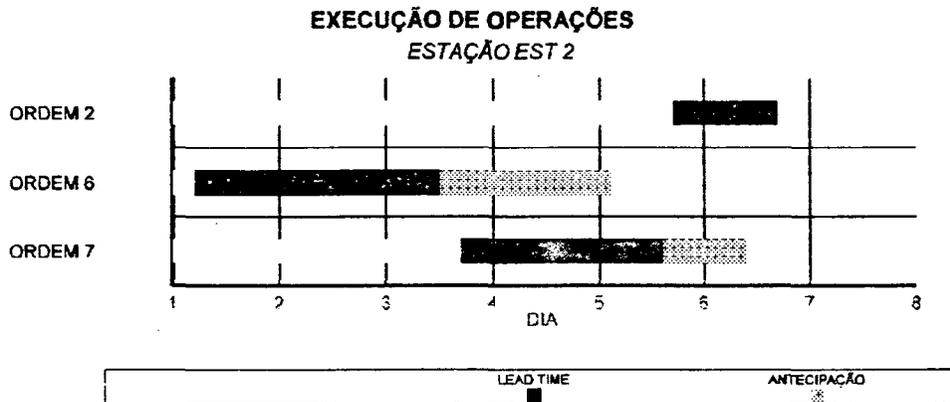


Figura 50 - Programação da estação de trabalho EST 2

Segundo o parâmetro relativo de carga, a seguinte estação a ser balanceada é a EST 4 (Recurso LFL) cujo estado inicial de carga é dado pela tabela 15, figura 51.

TABELA 15 - Estado inicial de carga da estação EST 4 - Recurso LFL

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME PARCIAL	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO <sup>15</sup> TOLERÁVEL
		DIA	HORA	
1	27	5	9.5	40.5
5	42	5	15	20
8	25	6	7	-
9	9	6	13	-
10	42	6	4	0

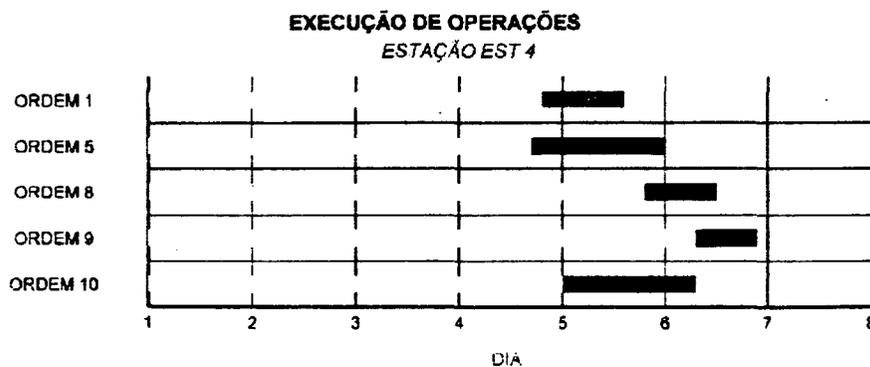


Figura 51 - Programação inicial da estação de trabalho EST 4

Na estação EST 4, pela data de entrega a operação da ordem 9 pode ser processada em quinto lugar. Também, por data de entrega as ordens 8 e 10 têm a possibilidade

<sup>15</sup>Esta antecipação constitui o número de horas em que a data de liberação da tarefa na estação de trabalho poderá ser adiantada em relação a data inicialmente prevista. Será antecipação mínima quando operações em estágios posteriores obrigarem a antecipar a execução da tarefa na estação analisada.

de serem processadas em quarto lugar<sup>16</sup>, então, a ordem 10 é selecionada para ser processada em quarto lugar pois ela não tem tolerância para ser antecipada devido ao seqüenciamento realizado em estações mais críticas<sup>17</sup>. As operações correspondentes às ordens 1, 5 e 8 podem ser seqüenciadas segundo o *lead time* parcial, resultando a ordem de processamento 8-1-5, mas considerando-se que a operação da ordem 1 tem a possibilidade de ser antecipada 40.5 horas (da operação imediata anterior), a ordem de processamento das ordens 8 e 1 pode ser invertida resultando a ordem 1-8-5-10-9 mostrando os resultados deste ordenamento na tabela 16, figura 52.

TABELA 16 - Seqüenciamento de operações na estação EST 4 - Recurso LFL

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
1	1	2	14	40.5
8	2	3	9	43
5	3	4	14	16
10	4	6	4	0
9	5	6	13	0

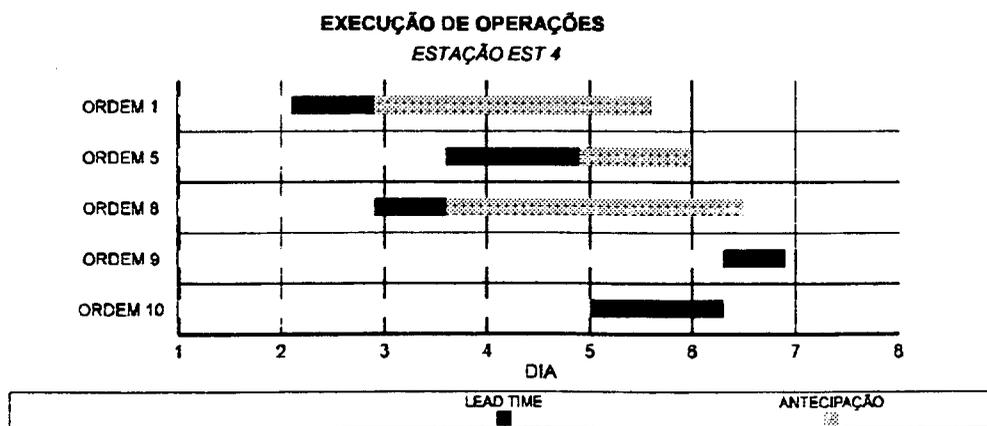


Figura 52 - Programação da estação de trabalho EST 4

○ o estado inicial de carga e o seqüenciamento de tarefas da estação EST 5 - Recurso LFP pode ser observado nas tabelas 17, 18 e figuras 53, 54, respectivamente.

<sup>16</sup> Ambas as operações têm como data de entrega o dia 6 na quarta hora após de ter fixado a operação da ordem 9 para ser processada em quinto lugar.

<sup>17</sup> No seqüenciamento realizado na estação EST 1 se determina que a operação correspondente a ordem 10 não seria antecipada pois para a ordem 10 a operação a ser executada na estação EST 1 é precedente da operação a ser executada na estação EST 4.

TABELA 17 - Estado inicial de carga da estação EST 5 - Recurso LFP

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME PARCIAL	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO TOLERÁVEL
		DIA	HORA	
2	32	7	2	0
3	38	7	15	-
4	32	5	9	-
6	46	5	13	24
7	40	6	15	12

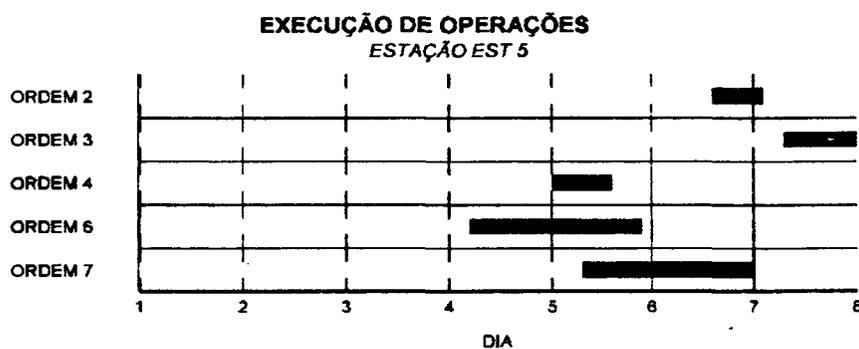


Figura 53 - Programação inicial da estação de trabalho EST 5

TABELA 18 - Seqüenciamento de operações na estação EST 5 - Recurso LFP

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
6	1	4	5	23
4	2	4	14	10
7	3	6	9	6
2	4	7	2	0
3	5	7	15	0

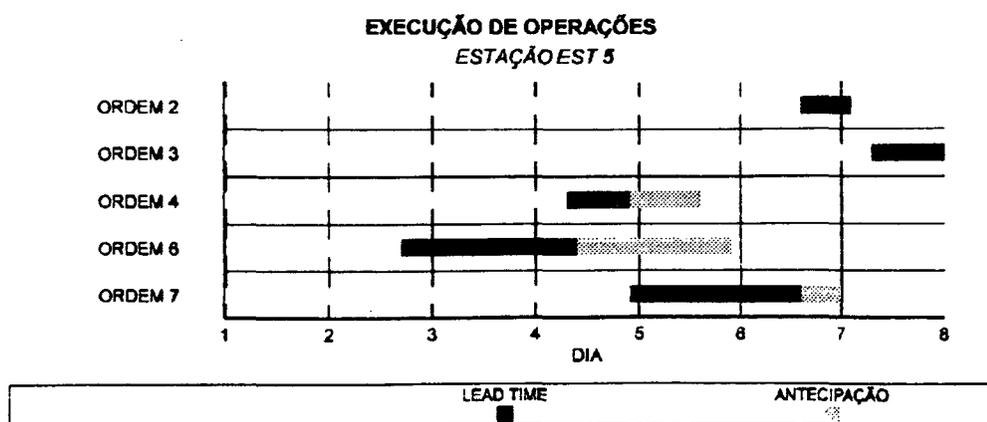


Figura 54 - Programação da estação de trabalho EST 5

Para a estação EST 6 - Recurso FTT, o estado inicial de carga e o seqüenciamento de tarefas é representado nas tabelas 19, 20 e figuras 55 e 56, respectivamente.

TABELA 19 - Estado inicial de carga da estação EST 6 - Recurso FTT

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME PARCIAL	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO TOLERÁVEL
		DIA	HORA	
1	43	6	10,5	40,5
2	45	7	15	0
4	45	6	7	10
6	67	7	2	23
7	55	7	15	6
10	68	7	15	0

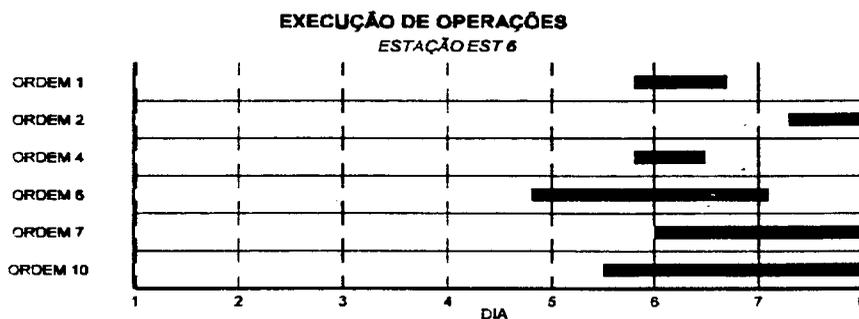


Figura 55 - Programação inicial da estação de trabalho EST 6

TABELA 20 - Seqüenciamento de operações na estação EST 6 - Recurso FTT

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
1	1	4	12	28.5
6	2	5	4	28
4	3	5	8	14
7	4	7	4	11
2	5	7	15	0
10	6	7	15	0

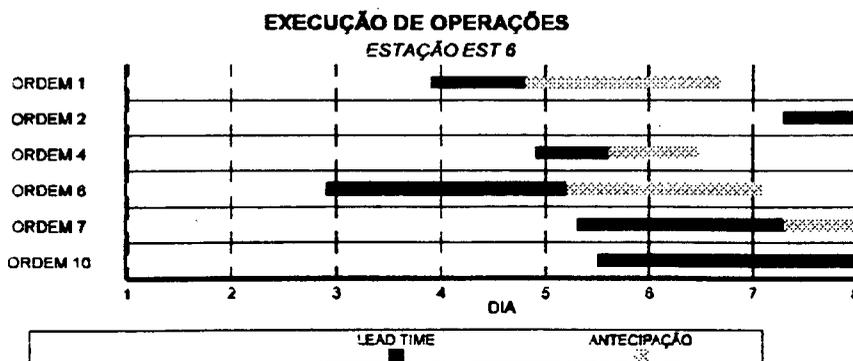


Figura 56- Programação da estação de trabalho EST 6

Após ter sido feito o balanceamento de carga na estação EST 6, observa-se que as ordens 6, 4 e 7 ultrapassam as horas toleráveis para antecipação na estação EST 5 (Recurso LFP) em 5, 4 e 5 horas respectivamente, e a ordem 6 ultrapassa também a antecipação tolerável na estação de trabalho EST - 2 (Recurso MB) . Esse fato fará com que as estações já balanceadas, EST 5 e EST 2, sofram as modificações mostradas nas tabelas 21, 22 e figuras 57 e 58.

TABELA 21 - Modificações na estação EST 5 devido ao seqüenciamento em EST 6

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
6	1	3	15	28
4	2	4	9	15
7	3	6	4	11
2	4	7	2	0
3	5	7	15	0

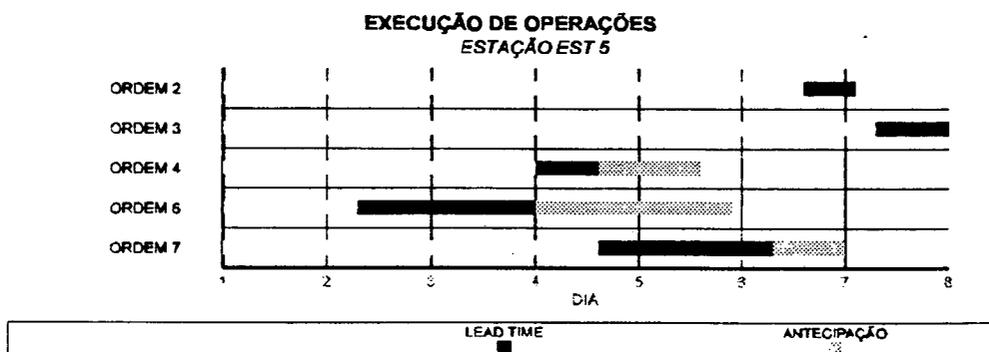


Figura 57 - Modificação na programação da estação de trabalho EST 5

TABELA 22 - Modificações na estação EST 2 devido ao seqüenciamento em EST 6

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
6	1	3	4	23
7	2	5	7	15
2	3	6	7	0

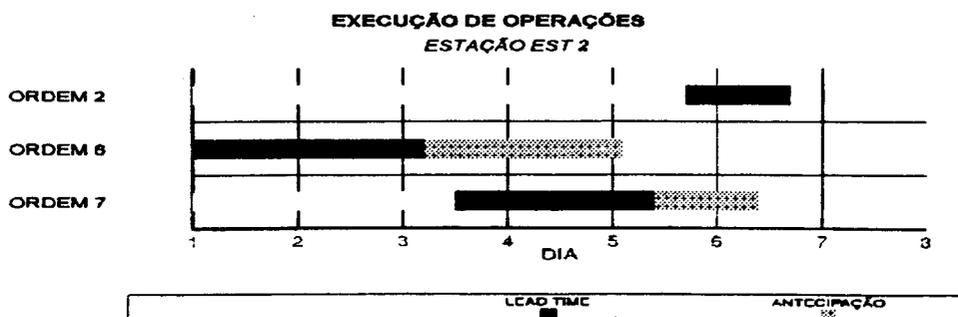


Figura 58- Modificação na programação da estação de trabalho EST 2

Seguindo a lógica descrita anteriormente, é feito o balanceamento de carga nas demais estações de trabalho, resumido nas tabelas 23 até 31 e figuras 59 até 63.

TABELA 23 - Estado inicial de carga da estação EST 3 - Recurso MC

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME PARCIAL	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO MÍNIMA
		DIA	HORA	
2	11	6	7	0
3	21	7	2	0
6	22	3	4	28
8	8	2	12	43

TABELA 24 - Seqüenciamento de operações na estação EST 3 - Recurso MC

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
8	1	1	14	56
6	2	3	4	28
2	3	6	7	0
3	4	7	2	0

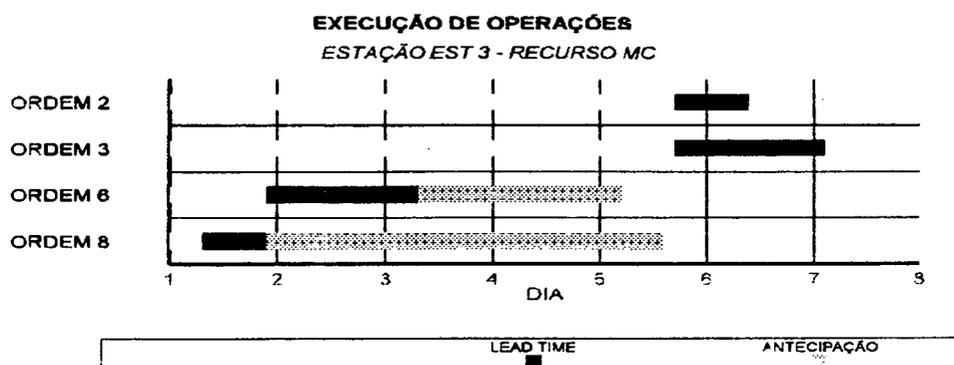


Figura 59- Programação da estação de trabalho EST 3 - Recurso MC

TABELA 25 - Estado inicial de carga da estação EST 8 - Recurso API

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME PARCIAL	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO TOLERÁVEL
		DIA	HORA	
1	62,5	7	15	28,5
4	68	7	15	15
5	72	7	15	16
8	48	7	15	43

TABELA 26 - Seqüenciamento de operações na estação EST 8 - Recurso API

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
8	1	5	7	38
1	2	6	9	21
5	3	7	15	0
4	4	7	15	0

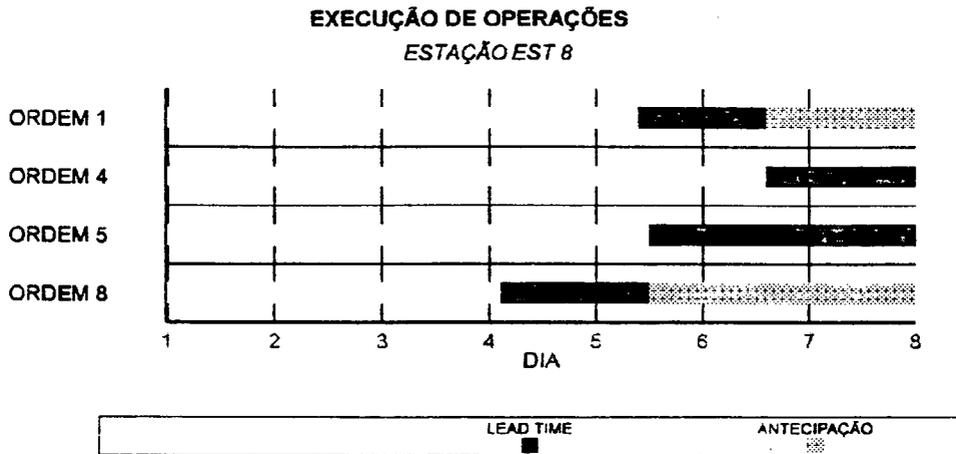


Figura 60 - Programação da estação de trabalho EST 8

TABELA 27 - Estado inicial de carga da estação EST 7 - Recurso AOL

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME PARCIAL	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO TOLERÁVEL
		DIA	HORA	
6	80	7	15	28
9	26	7	15	0

TABELA 28 - Seqüenciamento de operações na estação EST 7 - Recurso AOL

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
6	1	7	7	7.5
9	2	7	15	0

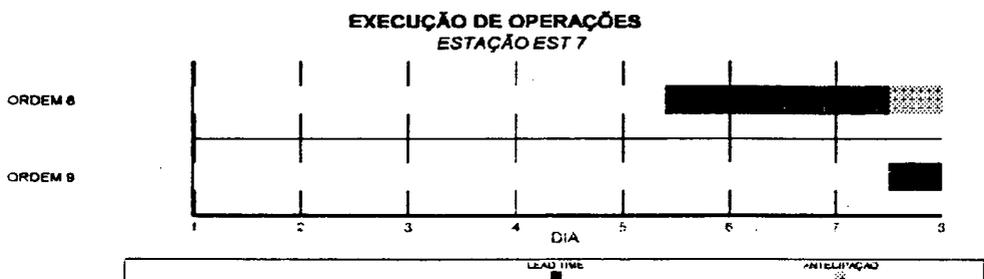


Figura 61 - Programação da estação de trabalho EST 7

TABELA 29 - Estado inicial de carga e seqüenciamento da estação EST 3 - Recurso MA

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME PARCIAL	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO TOLERÁVEL
		DIA	HORA	
4	17	3	13	38

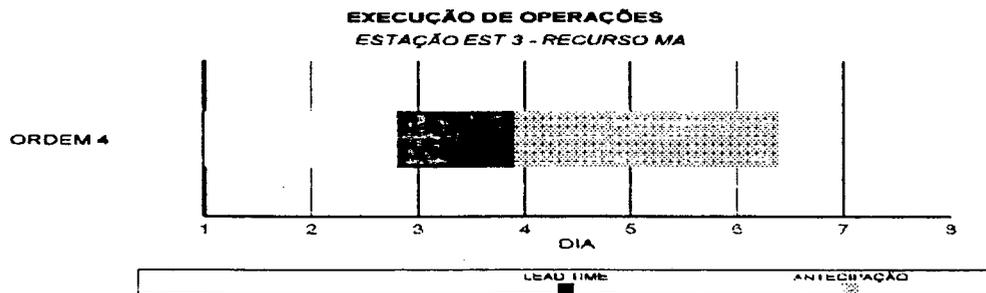


Figura 62 - Programação da estação de trabalho EST 3 - Recurso MA

TABELA 30 - Estado inicial de carga da estação EST 3 - Recurso MB

ORDEM DE PRODUÇÃO	LEAD TIME PARCIAL	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO MÍNIMA
		DIA	HORA	
3	20	7	2	0
4	23	3	13	23
7	12	5	8	11

TABELA 31 - Seqüenciamento de operações na estação EST 3 - Recurso MB

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
4	1	3	13	23
7	2	5	8	11
3	3	7	2	0

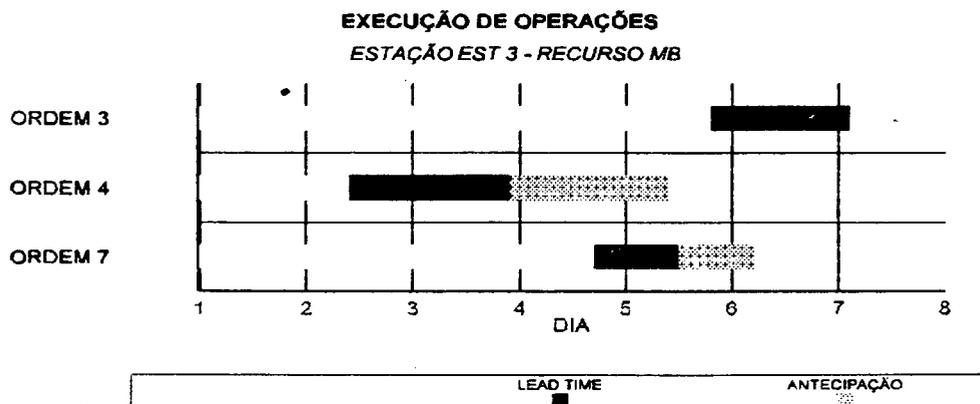


Figura 63 - Programação da estação de trabalho EST 3 - Recurso MB

5.6.5. ATRASO DE TAREFAS

Após a execução do balanceamento de carga do sistema, ocorre a sobrecarga da estação EST 2 (Recurso MB), cujo estado de carga é mostrado nas figuras 64 e 65.

Esses gráficos indicam que a estação analisada tem sobrecarga no primeiro dia de operação. No planejamento essa sobrecarga é resolvida, atrasando as tarefas de maneira que ela desapareça. No exemplo analisado, as modificações de planejamento estariam nas estações EST 2, EST 5 (Recurso LFP) e EST 6 (Recurso FTT).

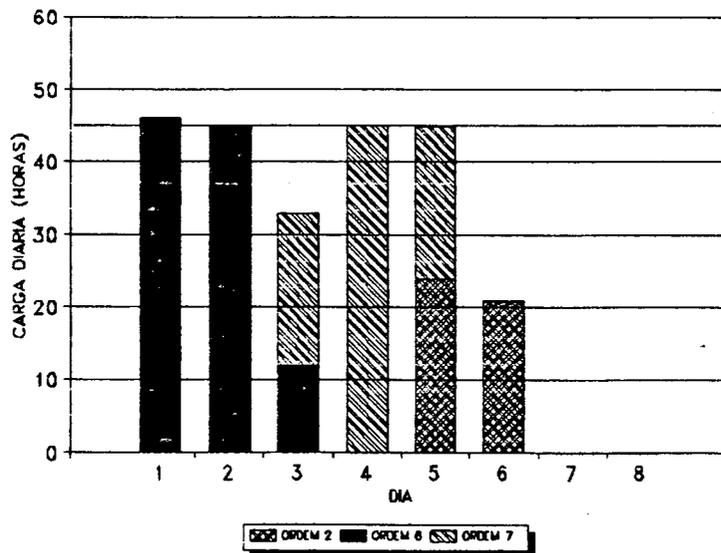


Fig. 64 - Estado de carga após do balanceamento da estação EST 2

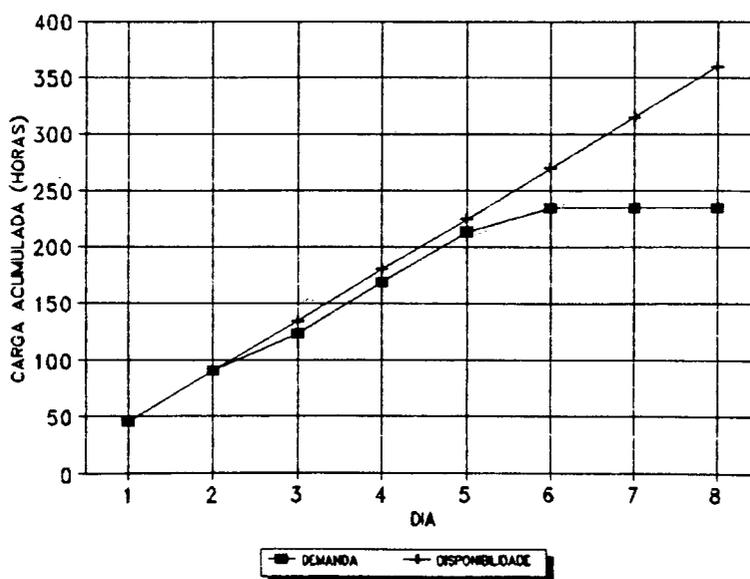


Fig. 65 - Gráfico de carga acumulada após do balanceamento da estação EST 2

Na estação EST 2 é atrasada unicamente a operação concernente a ordem de produção 6 devido ao fato de que, entre a ordem 6 e a seguinte a ser processada, existe uma folga maior do que o atraso que é requerido. (Tabela 32, Figura 66).

TABELA 32 - Modificações na estação EST 2 devido ao atraso da ordem 6

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
6	1	3	5	27
7	2	5	7	15
2	3	6	7	0

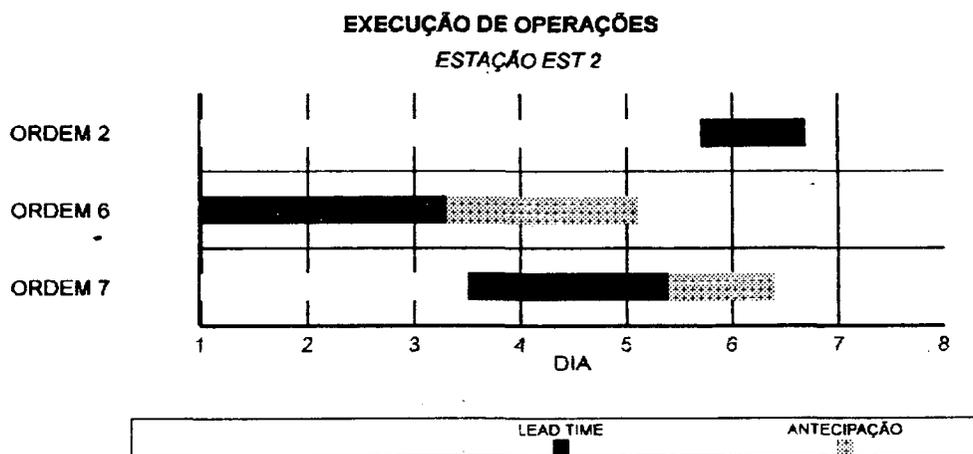


Figura 66 - Atraso de operação da ordem 7 na estação de trabalho EST 2

Na estação EST 5 (Recurso LFP) são atrasadas as ordens 6, 4 e 7 em uma hora porque não existe folga entre o término das tarefas 6 e 4 e o começo das tarefas 4 e 7 respectivamente. Entretanto, essa folga existe entre a finalização da tarefa 7 e o começo da tarefa 2 sendo esse o motivo porque não será preciso o atraso dessa última tarefa nem das seguintes a serem processadas nessa estação de trabalho (tabela 33, figura 67).

TABELA 33 - Modificações na estação EST 5 devido ao atraso da ordem 6

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
6	1	4	1	27
4	2	4	10	14
7	3	6	5	10
2	4	7	3	0
3	5	7	15	0

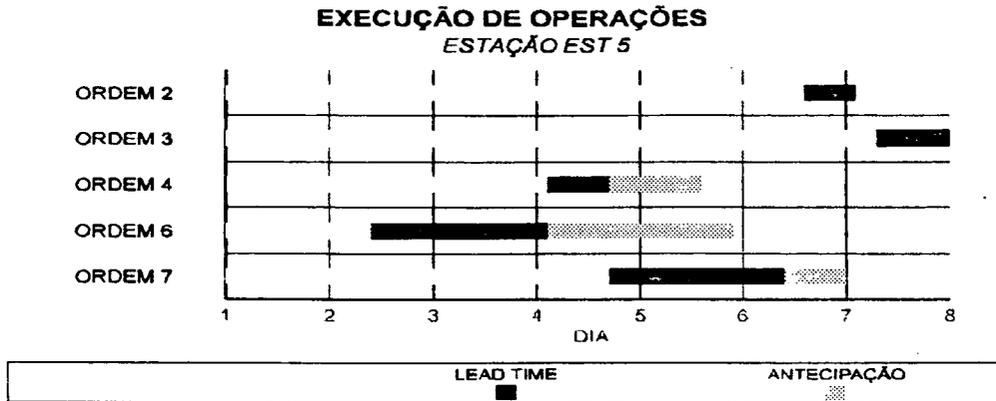


Figura 67 - Atraso de operações das ordens 6, 4 e 7 na estação de trabalho EST 5

Na estação EST 6 são atrasadas as ordens 6 e 7 em uma hora, pois esse atraso é provocado pela modificação de datas nas estações de processamento anteriores. A tarefa 2 também é atrasada por não existir folga entre o término de processamento da tarefa correspondente a ordem 7 e o começo da tarefa 2 na mesma estação de trabalho. Entretanto, a tarefa da ordem 4, que sofreu um atraso de uma hora no processo na estação EST 5, não exige ser atrasada em EST 6 porque existe folga entre o término da tarefa em EST 5 e o começo da operação em EST 6 (Tabela 34, figura 68).

TABELA 34 - Modificações na estação EST 6 devido ao atraso da ordem 6

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
1	1	4	12	28.5
6	2	5	5	27
4	3	5	8	14
7	4	7	5	10
2	5	8	1	-1
10	6	7	15	0

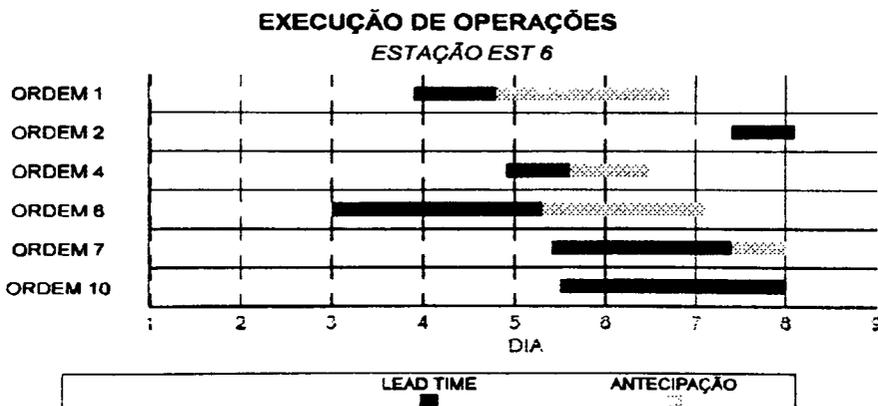


Figura 68 - Atraso de operações das ordens 6, 4 e 2 na estação de trabalho EST 6

Após estes últimos ajustes, o planejamento do "chão de fábrica" pode ser considerado finalizado restando, a partir de então, o seguimento do programa e o ajuste devido a imprevistos que acontecerão durante sua execução. O estado de carga de cada estação de trabalho após do balanceamento é mostrado no anexo 2.

#### 5.6.6 DADOS DO PROGRAMA

O programa de produção gerado foi avaliado basicamente segundo os seguintes critérios: o tempo de processamento médio; o atraso e a antecipação média com respeito a data de entrega. Com o mesmo grupo de ordens de produção foram gerados outros programas segundo as seguintes regras para seqüenciamento:

- a regra utilizada inicialmente foi a de executar primeiro a ordem com menor tempo de processamento na estação de trabalho ou regra SIO (*Shortest imminent operation time*). A programação foi feita a partir das datas de entrega (de trás para frente);
- uma segunda experiência foi a de executar as operações segundo o tempo de chegada na estação de trabalho FIFO (*First in first out*). Esta programação foi feita considerando-se que a data de liberação da ordem era a primeira data de operação do sistema (de frente para trás);
- o terceiro critério para seqüenciamento foi análogo ao primeiro pois, em lugar de se considerar a operação com menor tempo de processamento, considerou-se a regra de processar antes aquelas operações cujos tempos restantes de processamento sejam menores (regra SR: *Shortest remaining processing time*). Neste caso, de forma análoga a anterior, considerou-se que a data de liberação da ordem é a primeira data de operação do sistema (de frente para trás);
- uma quarta forma de realizar o seqüenciamento desse grupo de ordens no sistema foi a proposta neste trabalho: uma combinação da regra MLT (*Minimum lead time*) e o critério que considera o seqüenciamento de operações nas estações com maiores índices de carga acumulada. A programação neste caso foi a partir das datas de entrega (de trás para frente);

- finalmente, a partir da programação obtida anteriormente, foram otimizados os tempos médios de processamento minimizando os tempos de espera dentro do "chão de fábrica". Esses tempos de espera simplesmente foram deslocados antecipando a data de entrega de algumas ordens de produção.

Os resultados com respeito ao tempo de processamento (*lead time*) são mostrados na tabela 35. Nela se adicionou o mínimo tempo de processamento possível assumindo que as ordens de produção tinham tempos de espera iguais a zero dentro do "chão de fábrica".

TABELA 35 - Comparação de tempos médios de processamento (Horas)

ORDEM	LEAD T. MÍNIMO.	SIO	FIFO	SR	MLT + EST. CRÍTICA	MLT + EC + MINIMIZ.
1	62,50	65,00	62,50	62,50	82,00	62,50
2	38,00	68,00	38,00	38,00	39,00	39,00
3	34,00	33,00	38,00	38,00	34,00	34,00
4	68,00	105,00	114,00	73,00	85,00	71,00
5	64,00	90,00	64,00	64,00	90,00	74,00
6	78,00	90,00	86,00	92,00	97,50	78,00
7	55,00	59,00	70,00	64,00	57,00	57,00
8	46,00	85,50	59,00	72,00	62,00	57,00
9	22,00	65,00	22,00	22,00	26,00	22,00
10	68,00	68,00	65,00	73,00	68,00	68,00
<b>LEAD TIME MÉDIO</b>	53,55	72,85	61,85	59,85	64,05	56,25

Segundo essa tabela, é conseguido o mínimo tempo de processamento possível utilizando o sistema proposto combinado com um sistema de compactação ou redução de tempos de espera no "chão de fábrica". No modelo proposto não é utilizado o sistema para redução de tempos de espera no "chão de fábrica" porque, quando é utilizado o sistema de compactação, a antecipação para cumprimento de ordens será maior; e, principalmente, após reduzir a zero os tempos de espera se reduz a capacidade da infra-estrutura de permitir a inserção de alguma ordem de produção adicional.

Na tabela 36, é mostrado um quadro comparativo dos atrasos e antecipações na finalização de ordens de produção com respeito a data de entrega solicitada. Para cada sistema de programação se avalia a antecipação que é a média de adiantamento da data de entrega das

ordens com respeito a data solicitada, sendo esse valor zero quando a ordem é finalizada com atraso. Também se avalia a média de atrasos das ordens para cada método de programação.

TABELA 36 - Comparação de atrasos (-) e antecipações (+) na finalização de ordens de trabalho.

ORDEM	SIO	FIFO	SR	MLT + EST. CRÍTICA	MLT + EC + MINIMIZ.
1	+38	+32,5	+32,5	+21	+32
2	+30	+67	+67	-1	-1
3	0	+67	+67	0	0
4	0	-9	0	0	+14
5	0	+28	+28	0	+16
6	0	+29	-31	0	+5
7	-4	-8	+26	+10	+10
8	+15	+20	+22	+38	+43
9	+32	+83	+83	0	0
10	0	0	-3	0	0
<b>ANTECIPAÇÃO MÉDIA</b>	11,50	32,65	32,55	6,90	12,00
<b>ATRASSO MÉDIO</b>	0,40	1,70	3,40	0,10	0,10

Com o sistema FIFO conseguiu-se a maior antecipação de datas de entrega e, em geral, isso é conseguido quando se programa considerando que as tarefas devem ser começadas o quanto antes possível. Como conseqüência, também com esses sistemas de programação (de frente para trás) são obtidos maiores índices de atrasos. Quando a programação é feita a partir das datas de entrega (de trás para frente) são obtidos menores antecipações e menores índices de atraso.

Do ponto de vista da filosofia *just in time*, o sistema proposto, de utilizar uma regra que neste caso foi de antecipar a operação que menor tempo acumulado tinha (Regra MLT) e considerar o seqüenciamento das estações críticas, é a que melhor resultado oferece, pois tanto a antecipação como o atraso são mínimos.

### 5.7. APLICAÇÃO DO SISTEMA - QUEBRA DE MÁQUINA

Muitas vezes acontecem eventos que impedem a execução de um plano de produção dado. Um exemplo pode ser a quebra de uma máquina que atrasa tarefas programadas na mesma máquina e tarefas em outras máquinas que são alimentadas pela

máquina que sofreu a quebra (falha de modo comum). Esse tipo de evento faz com que o sistema execute o balanceamento com atraso pois, após a parada de uma máquina, começará o período imediato de operação com sobrecarga pelos trabalhos não executados.

Para ilustrar esta situação simulou-se uma quebra da linha EST 5 no terceiro dia de operação atrasando as tarefas dessa máquina em 4 horas. A situação de carga dessa máquina será, então, a mostrada pelas figuras 69 e 70. Nelas se percebe a situação de sobrecarga no quarto dia de operação que corresponde ao período imediato de operação após um serviço de manutenção corretiva.

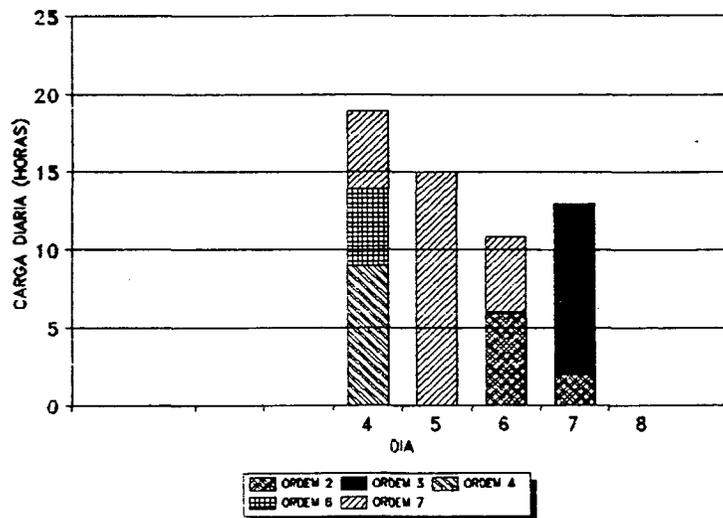


Fig. 69 - Estado de carga após manutenção na estação EST 5

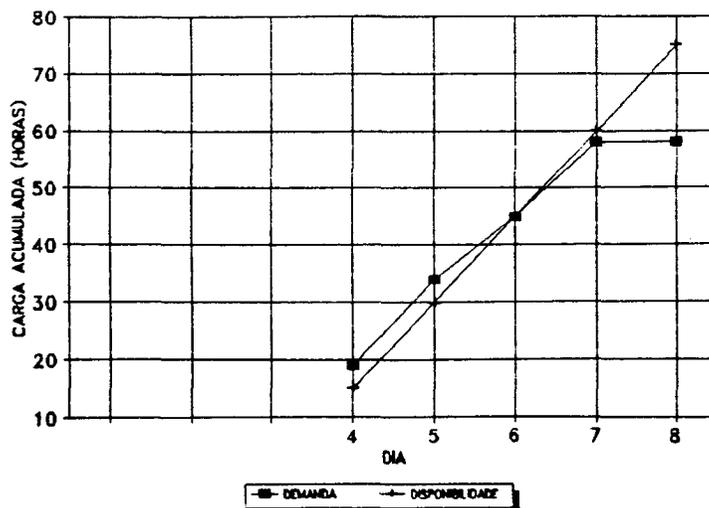


Fig. 70 - Gráfico de carga acumulada devido à quebra na estação EST 5

Essa sobrecarga é resolvida atrasando as tarefas correspondentes às ordens 4, 6 e 7 (tabela 37 - figura 71) que ocasionam também atraso de tarefas na estação de trabalho EST 6 conforme é mostrado na tabela 38, figura 72.

TABELA 37 - Modificações na estação EST 5 devido a quebra de máquina

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
6	1	4	5	23
4	2	4	14	10
7	3	6	9	6
2	4	7	3	0
3	5	7	15	0

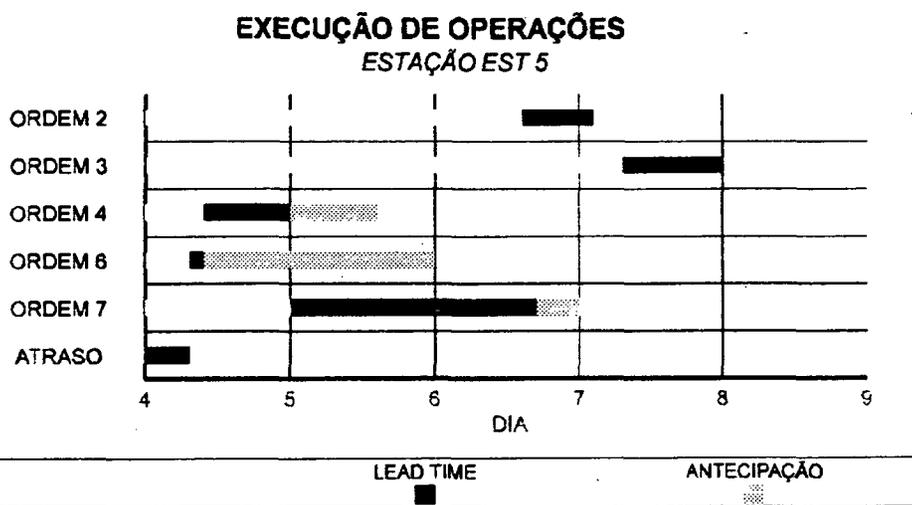


Fig. 71 - Modificação na programação da estação EST 5 devido a quebra de máquina.

TABELA 38 - Modificações na estação EST 6 devido ao atraso na estação EST 5

ORDEM DE PRODUÇÃO	SEQÜÊNCIA	DATA DE ENTREGA		ANTECIPAÇÃO
		DIA	HORA	
1	1	4	12	28.5
6	2	5	9	23
4	3	5	12	10
7	4	7	9	6
2	5	8	5	-5
10	6	8	4	-4

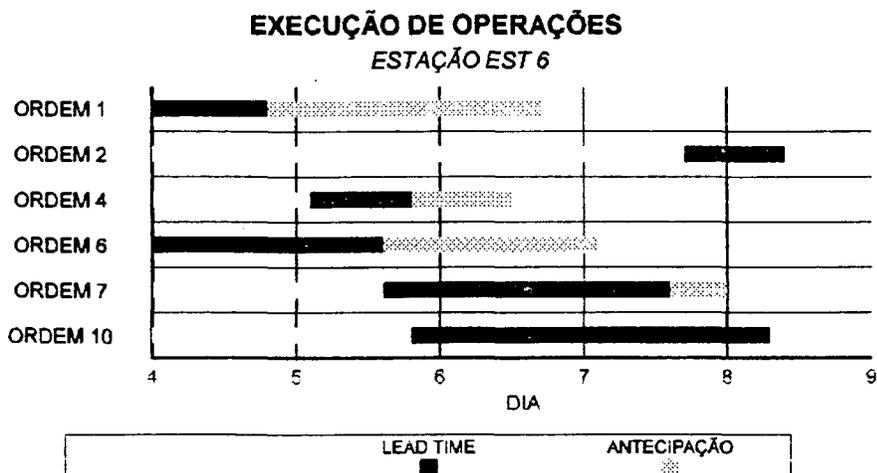


Fig. 72 - Modificação na programação da estação EST 6 devido a quebra em EST 5.

### 5.8. APLICAÇÃO DO SISTEMA - INSERÇÃO DE ORDEM

Um outro tipo de evento que influi na programação de um grupo de tarefas numa infra-estrutura dada, é a inserção de ordens após do planejamento de produção. Nesse caso o sistema aceitará unicamente uma ordem se existe capacidade para processá-la. Se não existir essa capacidade, a ordem deverá ser rejeitada porque ela gerará atrasos num determinado plano.

Para explicar com maior detalhe estes casos, no exemplo analisado simulou-se a decisão de inserir uma décima-primeira ordem de produção com data de entrega no nono dia e com as características mostradas na tabela 39.

TABELA 39 - Demanda de tempo de recurso de ordem 11 carregada no sistema

ORDEM DE PRODUÇÃO	TAMANHO DA ORDEM	RECURSO					
		MA	MB	MC	LFL	FTT	AOL
11	1	0	0	112	13	0	60
ESTAÇÃO		---	---	EST 3	EST 4	----	EST 7

Essa ordem influirá no estado de carga das estações EST 3 - RECURSO MC, EST 4 e EST 7 como é mostrado nos gráficos de carga acumulada nas figuras 73, 74 e 75. A partir desses estados de carga é concluída a aceitação dessa ordem por não ultrapassar a capacidade de processamento de nenhuma estação.

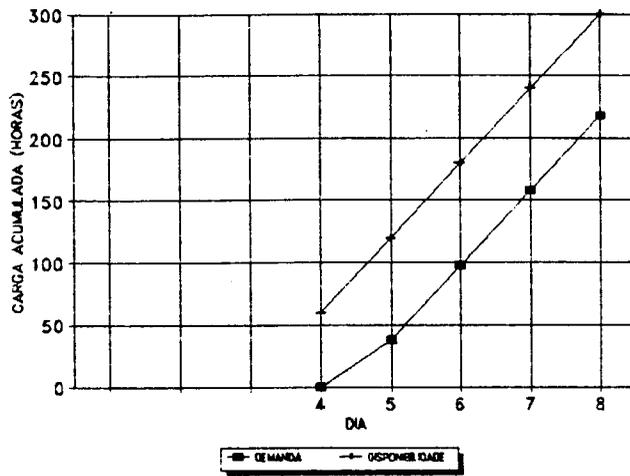


Fig. 73 - Gráfico de carga acumulada com inserção de ordem 11 na estação EST 7.

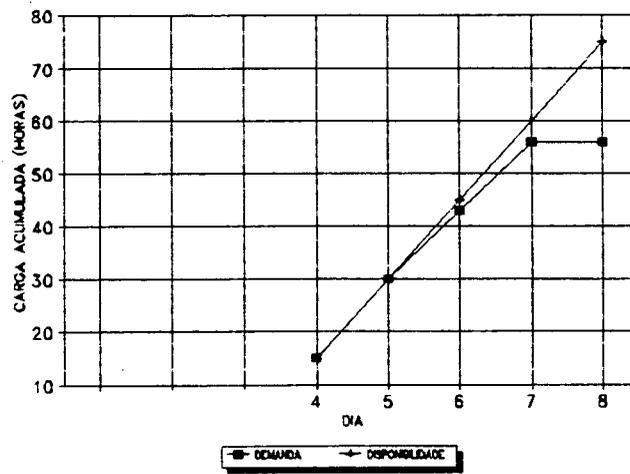


Fig. 74 - Gráfico de carga acumulada com inserção de ordem 11 na estação EST 4.

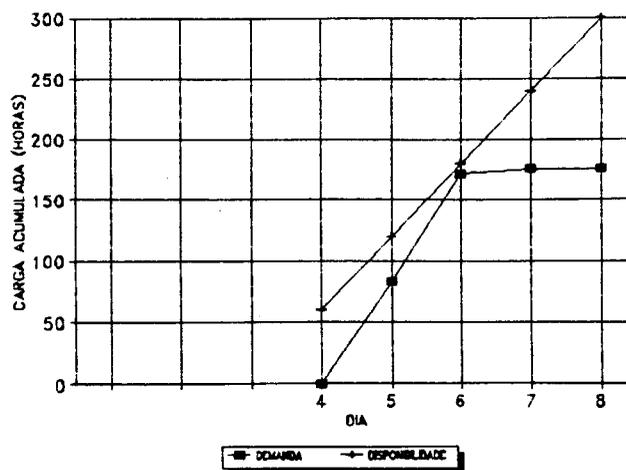


Fig. 75 - Gráfico de carga acumulada com inserção de ordem 11 na estação EST 3 - Recurso MC.

Para ilustrar o exemplo de rejeição se supõe que essa ordem de produção mantém a data de entrega mas tem outra estrutura de produto requerendo a estação EST 5 em lugar da estação EST 4 segundo o mostrado na tabela 40.

TABELA 40 - Demanda de tempo de recurso de ordem 11 carregada no sistema

ORDEM DE PRODUÇÃO	TAMANHO DA ORDEM	RECURSO					
		MA	MB	MC	LFP	FTT	AOL
11	1	0	0	112	13	0	60
ESTAÇÃO		---	---	EST 3	EST 5	-----	EST 7

Nesse caso a ordem será rejeitada por ultrapassar a capacidade de processamento na estação EST 5 (no sétimo período de operação) segundo é mostrado no diagrama de carga acumulada dessa estação, na figura 76.

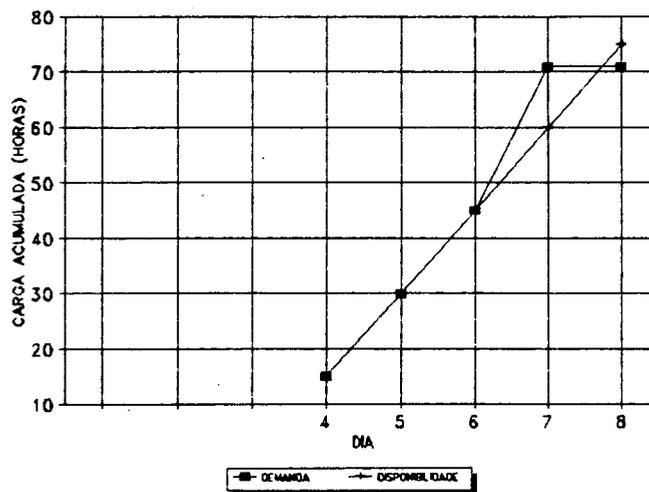


Fig. 76 - Gráfico de carga acumulada com inserção de ordem 11 na estação EST 5

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto um sistema de apoio ao planejamento de produção a partir de modelos de produto fornecidos por sistemas de MRPII, uma vez que essa técnica de administração de produção propõe um sistema bastante eficiente para determinar necessidades de capacidade e matéria prima num ambiente produtivo. É muito importante que esses modelos representem de uma maneira aproximada a realidade para que um sistema de planejamento de produção funcione de maneira eficiente. Os sistemas que não utilizam o MRPII também têm a possibilidade de utilizar sistemas similares ao apresentado, mas antes é necessária a construção de modelos que definam a estrutura de produto.

Para verificar a aplicabilidade do sistema proposto, utilizando uma linguagem de programação orientada ao objeto e planilhas eletrônicas para a geração de gráficos, foi construído um sistema para apoio na programação de produção. Embora o alcance do sistema construído seja muito limitado, pois nele apenas são consideradas as regras de programação apresentadas na aplicação deste trabalho, conseguiu-se provar que a utilização da lógica de planejamento apresentada, ajuda a obter planos de produção eficientes. Outra limitação da aplicação construída é a capacidade de gerenciar uma quantidade grande de informações que pode ser encontrada num sistema real. Para construir sistemas reais de apoio ao planejamento de produção é importante construí-los utilizando gerenciadores de base de dados, pois eles

permitem um manuseio eficiente de toda a informação relacionada ao "chão de fábrica" num sistema real.

No sistema apresentado foi utilizada uma regra combinada de seqüenciamento que consiste em antecipar as operações que menor tempo de processamento acumulado (*lead time*) tiveram nas estações críticas; também foi utilizada a ordem de processamento obtida nestas estações junto com a regra inicialmente utilizada para organizar o seqüenciamento de tarefas em outras estações de trabalho. Este sistema é eficiente em ambientes que possuem um *mix* de produtos amplo e trabalham como *flow shop* ou linha de montagem.

Se o *mix* de produtos for menor, a lógica seria a mesma, mas uma regra que considere o *set-up* de máquinas em lugar da regra do tempo acumulado poderia oferecer melhor performance de fábrica. Se o sistema trabalha como *job shop*, uma regra de seqüenciamento que antecipe tarefas com menor tempo de processamento pode oferecer melhores resultados.

O ideal é que uma tarefa deve ser concluída no tempo certo para o estágio seguinte de processamento não ter tempos mortos em caso de atraso, ou filas no caso de antecipação. Devido a limitação de capacidade, algumas tarefas são antecipadas gerando tempos de espera no "chão de fábrica".

Os critérios de programação da produção dependem muito dos objetivos da empresa. A programação, a partir da data de entrega utilizada no sistema proposto, é considerada como uma consequência lógica de um sistema *just in time*. O objetivo deste trabalho foi propor um sistema que ajude a minimizar estes tempos de espera que em casos reais são inevitáveis.

Em geral, a programação a partir da data de entrega oferece melhores resultados para ambientes *just in time*, mas se existir empresas que têm como objetivo de trabalho a utilização máxima de recursos, é melhor um sistema de programação que inicie a lotação de capacidade o quanto antes possível. Como desvantagem para este tipo de sistema estão os atrasos que podem ser gerados para algumas ordens de trabalho.

Como foi visto anteriormente, os resultados do programa gerado podem ser ainda otimizados com respeito ao *lead time*. Isto é feito com um sistema de compactação e diminuição de tempos de espera dentro do "chão de fábrica". Uma técnica que faça isso simplesmente estará deslocando esses tempos de espera para os últimos estágios nos processos de fabricação e possivelmente à seção de expedição da fábrica (figura 77). A vantagem de ter um sistema com mínimo *lead time* será ter um "chão de fábrica" menos congestionado, mas, por outro lado, deverão ser antecipados custos de fabricação que poderiam ser postergados. Além desse fato, seria preciso uma área de expedição maior devido a antecipação da data de entrega. Dependendo dos objetivos de cada empresa, pode-se optar por antecipar a entrega de ordens ou simplesmente entrega-las no tempo certo.

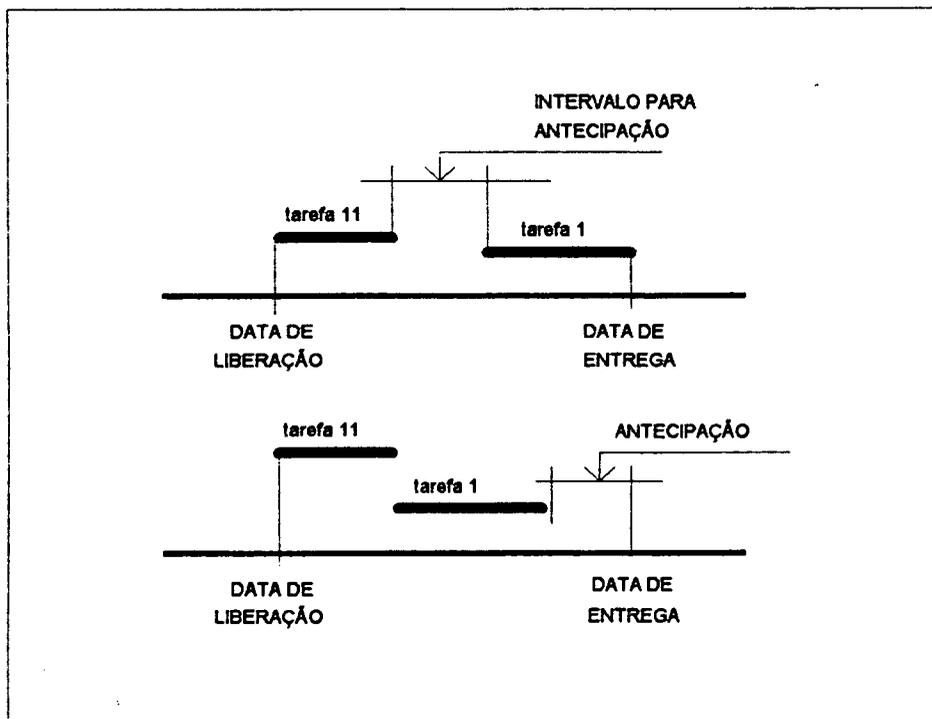


Fig. 77 - Melhora do *lead time* com antecipação de datas de entrega.

No planejamento da aplicação apresentada, obteve-se o atraso de uma ordem devido ao fato de que se trabalhou com 100% de disponibilidade no momento de planejamento. Para evitar ou minimizar atrasos no resultado de planejamento pode-se optar por artifícios como diminuir a disponibilidade de capacidade (figura 78), ou assumir que as datas de entrega das ordens são planejadas para datas anteriores as datas solicitadas pelos clientes. Ambas as técnicas diminuem a capacidade disponível para planejamento e com essa limitação é

possível evitar atrasos. O grau de limitação depende muito do tipo de infra-estrutura que existe no "chão de fábrica" e o tipo de ordens que são processadas. Ordens muito longas, com muitos estágios no processo demandarão um maior grau de redução de capacidade no momento de planejamento.

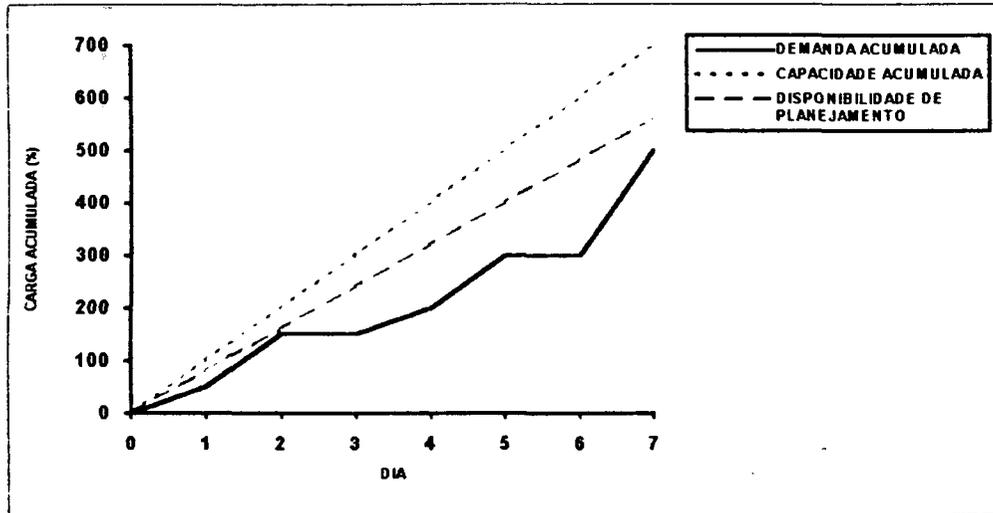


Fig. 78 - Diminuição da capacidade de planejamento.

O tempo adicional de operação (figura 79) é um dado importante que além de definir um tempo médio de transporte de produto em processo entre um estágio e outro, serve na programação como um *buffer* que amortece imprevistos ou certo grau de inexatidão nos tempos de processamento definidos nos modelos de estrutura de produto.

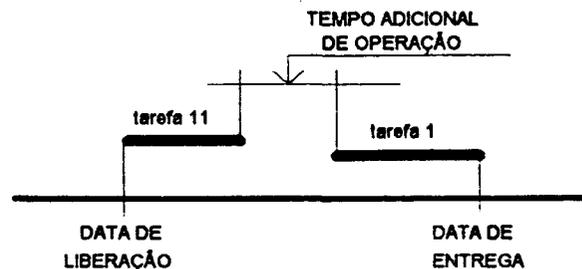


Fig. 79 - Tempo adicional de operação entre duas operações.

Como sugestões para o desenvolvimento de futuros trabalhos estão:

- o estudo da influência de características físicas do "chão de fábrica", estrutura de produto e níveis de carga de máquina nas características de programas de produção obtidos;

- a obtenção de um sistema que permita uma estimativa que ofereça valores dos tempos adicionais de operação ao nível de planejamento a serem utilizados, pois se este valor for muito baixo existirão atrasos com muita frequência provocando sub-utilização de recursos e muitas diferenças entre a situação programada e a real. Entretanto se este valor for muito alto os tempos de processo serão extensos resultando num sistema produtivo com muito tempo de espera no produto em processo;
- a melhora do sistema proposto com respeito ao nível de utilização de máquinas. Como o objetivo foi a construção do sistema em função a filosofia *just in time*, não foi considerada a utilização de máquinas que, possivelmente, em muitos sistemas reais é um fator importante;
- a implementação e o seguimento de um sistema análogo num caso real para assim obter maiores dados com respeito ao relacionamento entre as áreas de programação e produção. A partir da aplicação poderá ser obtida muita informação prática para a construção e melhora de sistemas em aplicações futuras;
- trabalhar no projeto do *hardware* e *software* para conseguir, além das funções de programação de um sistema de produção, o seguimento e controle *on line* da execução do planejamento. O objetivo será acelerar a obtenção de respostas quando existirem mudanças na execução do sistema planejado;
- implementação de um sistema de auto-alimentação com dados reais de produção para assim melhorar a informação concernente a estrutura de produto, pois geralmente a estrutura de produto não é informação estática, pois sempre existirão melhoras que permitirão a variação de tempos num processo de fabricação.

## BIBLIOGRAFIA

- [ARD92] ARDALAN, A., HAMMESFAHR, J., e POPE, J. - Total quality control, the repair facility - *Industrial Management & Data Systems* Vol 92 #8 1992.
- [BEL87] BELT, B. - MRP and KANBAN a possible synergy. *Production and Inventory Management*. Vol 28, Nro. 1, First Quarter 1987.
- [BEN88] BENSANA, E., BEL, G. e DUBOIS, D.- Multi-knowledge based system for industrial job-shop scheduling. *International Journal of Production Reserarch*, vol.26, Nro 5, 1988.
- [BLA82] BLACKSTONE, J., PHILLIPS, D. e HOGG, G. - A state of the art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations. *International Journal of Production Research*, vol. 20, Nro 1, 1982.
- [BRO88] BROWNE, J., HARHEN, J. e SHIVNAN, J. - *Production Management Systems*. Addison-Wesley Publishers Ltd. 1ra edição 1988.
- [BUR81] BURBIDGE, J.L. - *Planejamento e Controle de Produção*. São Paulo, Editora Atlas 1ra edição, 1981.
- [BUR88] BURBIDGE, J.L. - Operation scheduling with GT and PBC. *International Journal of Production Research*. vol 26, Nro 3, 1988.
- [BUS88] BUSINESS WEEK Smart factories America´s turn? .- *Business Week* Maio 8, 1989.
- [CON67] CONWAY, R.W., MAXWELL, W. e MILLER, L.W. - *Theory of Scheduling*, Addison Wesley, 1967.
- [CRO91] CROWE, T. e NUNO, J. - Deciding manufacturing priorities: flexibility, cost, quality and service. *International Journal of Strategic Management / Long Range Planing*. Vol 24 #6 Dez. 1991.
- [FEN89] FENSTERSEIFER, J.E. e BASTOS, R.M. - A implantação de sistemas MRP de gestão da produção e de materiais nas grandes empresas industriais do Brasil. *Revista de Administração*. São Paulo 24/1 1989.
- [FUL89] FULLMANN, C., RITZMAN, L. KRAJEWSKI L. et alii. *MRP/MRPII, MRPII, (MRP + JIT + KANBAN) OPT E GDR*. Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais, 1989.

- [GRAV81] GRAVES, S.C.- A review op production scheduling. *Operations Research* Vol 29, Nro 4, 1981.
- [HAL93] HALIM, A.H. e OHTA, H. - Batch-scheduling problems in a flowshop with both receiving and delivery just in time. *International Journal of Production Research* - Vol 31, Nro 8, Agosto 1993.
- [HEN89] HENDRY, L.C. e KINGSMAN, B.G. - Production planning systems and their applicability to make order companies. *European Journal of Operacional Research*. Vol 40, Nro. 1 Maio 1989.
- [HOW93] HOWARD, M.L. e NEWMAN R.G.- From job shop to just-in-time, a successful conversion. *Production and Inventory Management*. Vol 34, Nro. 3, Third Quarter 1993.
- [HON87] HONG, S. e MALEYEFF, J. - Production planning and master scheduling with spreadsheets. *Production and Inventory Management*. Vol 28, Nro. 1, First Quarter 1987.
- [IWA87] IWABURA S., e FLECK P.R. - *O conceito CIM e as soluções IBM - IBM do Brasil*, Julho 1987
- [KAN87] KANET, J.J. e ADELSBERGER, H. - Expert systems in produção scheduling. *European Journal of Operational Research* - #29, 1987.
- [KER91] KERN, V. - *Uma Abordagem de Inteligencia Artificial para o Problema de Programação de Produção*. Dissertação para mestrado UFSC, Fpolis 1991.
- [KU90] KU, H. e KARIMI, I. - Scheduling in serial multiproduct batch processes with due date penalties. *Industrial & Chemistry Research* Nro. 4, Vol 29, Abril 1990.
- [KUS87] KUSIAK, A. - Designing expert systems for scheduling of automated manufacturing. industrial engineering. *European Journal of Operational Research* Nro 7, Vol 19, 1987.
- [KUS88] KUSIAK, A. e CHEN, M. - Expert systems for planning and scheduling manufacturing systems. *European Journal of Operational Research* #34, Março 1988
- [LEV92] LEVENBACH, H. e THOMPSON, J.G. - Tying the forecasting process into finite scheduling. *Production & Inventory Management*, Janeiro 1992
- [LI93] LI, R.K., SHIJU, Y.S. e ADIGA, S. - Aheuristic rescheduling computer-based production scheduling. *International Journal of Production Research* - Vol 31, Nro 8, Agosto 1993.
- [MAC93] MACCARTHY, B.L. e LIU, J. - Adressing the gap in scheduling research: A review of optimization and heuristic methods in production scheduling. *International Journal of Production Research* - Vol 31, Nro 1, Janeiro 1993.

- [MACXX] MACHINE, Claude.- *Planejamento e controle de produção na indústria nacional de bens de equipamento*. Dpto. de produção e de Operações industriais da EAESP/FGV
- [MAN60] MANNE, A. S. - On the job shop scheduling problem. *Operations Research* 8, número 2, março 1960.
- [MAR88] MARUCHECK, A. e PETERSON, D. - Microcomputer planning and control for the small manufacturer: Part I. MRP and planning. *Production and Inventory Management*. Vol 29 Nro. 1 First Quarter 1986.
- [OVR90] OVRIN, P. OLHAGER, J. e RAPP, B. - Computer-based manufacturing and control systems in small companies. *European Journal of Operational Research*. Vol 45, Nro. 1, Março 1990.
- [PHI92] PHILIPOOM, P. e FRY, T. - Capacity based order review/release strategies to improve manufacturing performance. *International Journal of Production Research* - Vol 30, Nro 11, Novembro 1992.
- [PLE86] PLENERT, G. e BEST, T.D.- MRP JIT and OPT What's Best?. *Production and Inventory Management*. Vol 27, Nro. 2, Second Quarter 1986.
- [RAO88] RAO, A. e SCHERAGA, D. - Moving from manufacturing resource planning to just-in-time manufacturing. *Production and Inventory Management*. Vol 29 Nro. 1, First Quarter 1988.
- [ROS77] ROSS, D. - Structured Analysis (SA): A language for communicating ideas. *IEEE Transactions on Software Engineering*. Vol SE-3, Nro 1, Janeiro 1977.
- [SCH91] SHATNER, A e PRUET J. - Iterative job shop scheduling. An experience. *Decision Sciences*. Vol 22. Nro. 5. 1991.
- [SHI84] SHIMOYASHIRO, S., ISODA, K. e AWANE, H. - Input scheduling and load balance control for a shop. *International Journal of Production Research* - Vol 22, 1984.
- [SUM93] SUM C.C. e HILL A. - A new framework for manufacturing planning and control systems. *Decision Sciences*. Vol 24, Nro. 4, 1993.
- [TAY86] TAYLOR, S. e BOLONDER, S. - Scheduling product families. *Production and Inventory Management*. Vol 27, Nro. 3, Third Quarter 1986.
- [TER85] TERSINE, R. - *Production Operations Management. Concepts Structure and Analysis*. Segunda Edição, North Holland 1985.
- [THO92] THOMPSON, M. Coordinating the shop floor. *Production & Inventory Management*, Janeiro 1992

**ANEXO I - GRÁFICOS DE CARGA E CARGA ACUMULADA APÓS A ALOCAÇÃO  
DE TAREFAS**

GRAFICO DE CARGA - EST 1

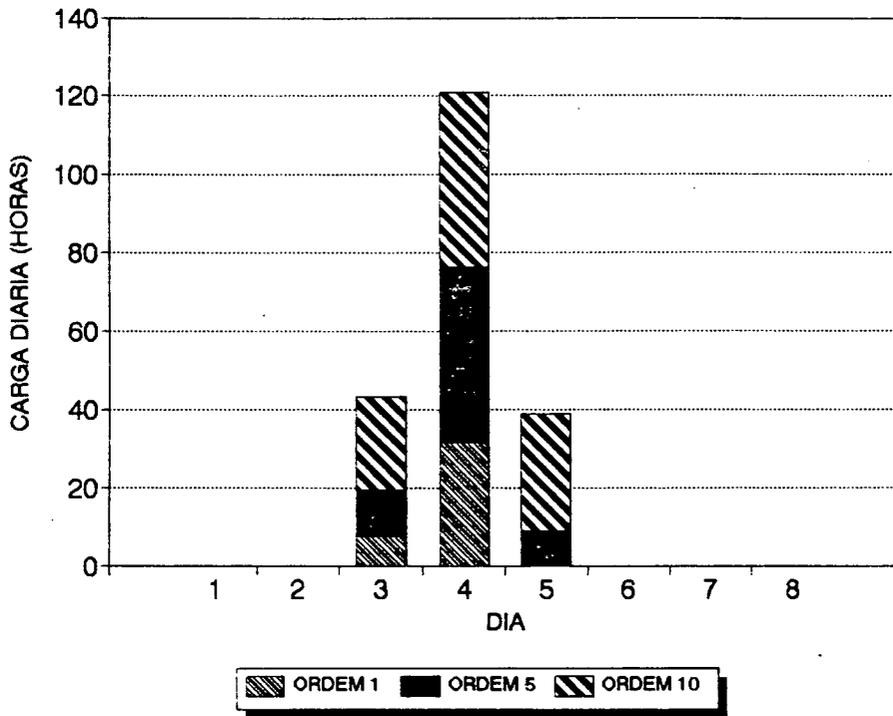


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 1

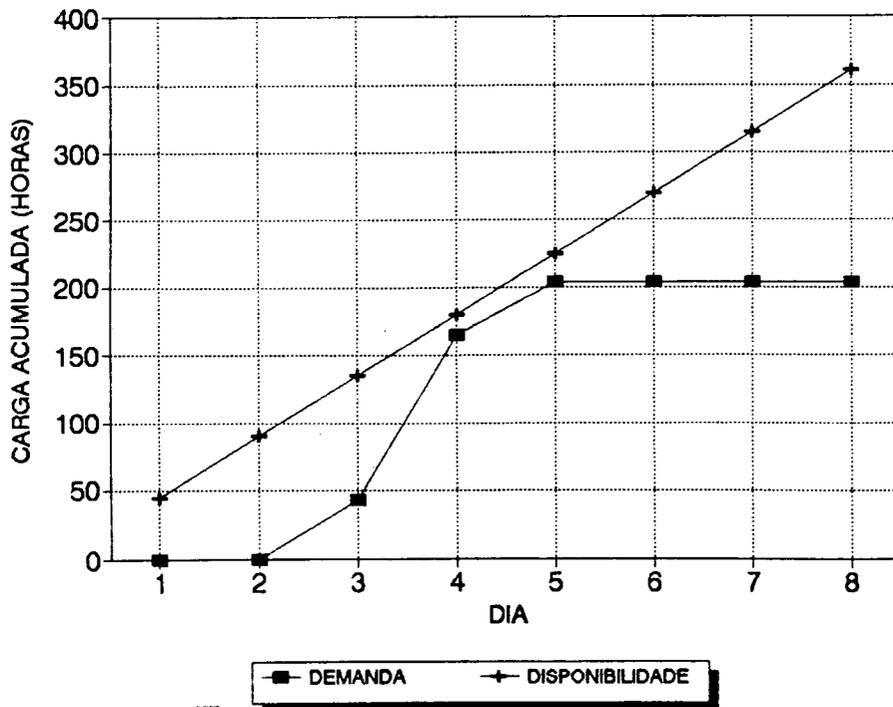


GRAFICO DE CARGA - EST 2

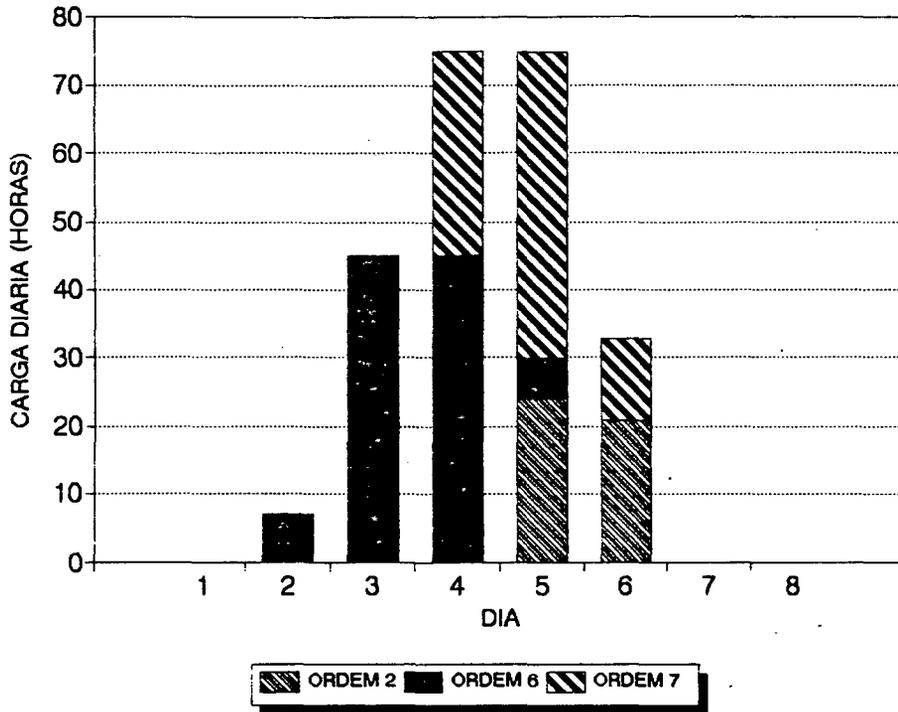


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 2

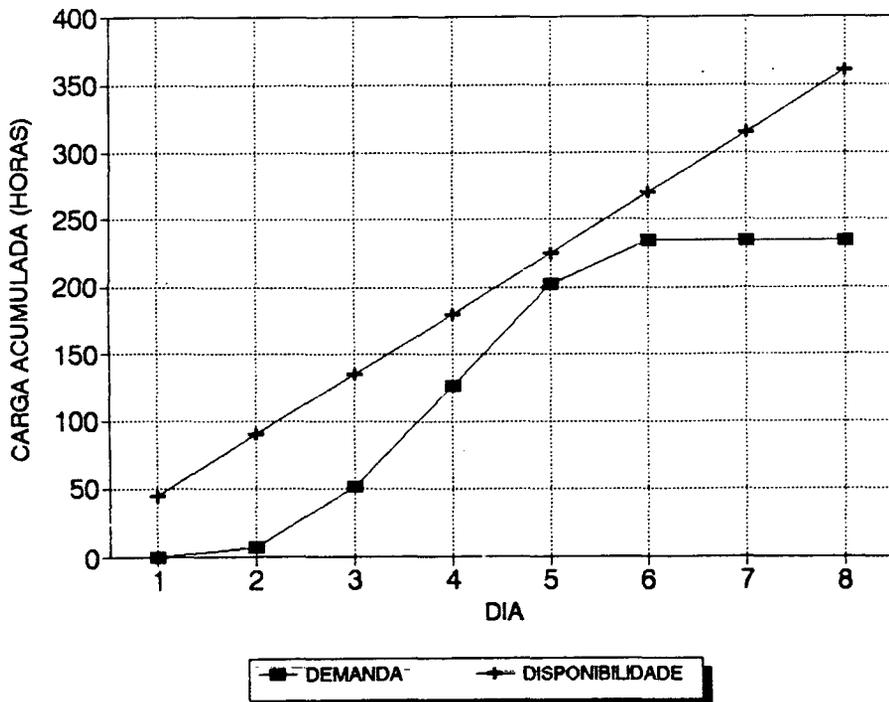


GRAFICO DE CARGA - EST 3 (MA)

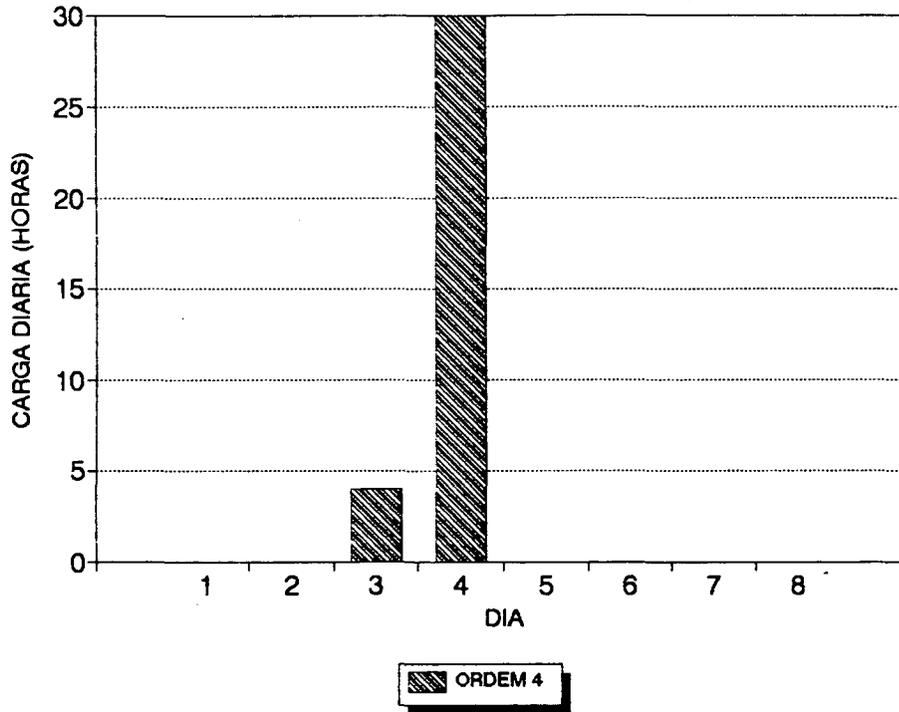


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 3 (MA)

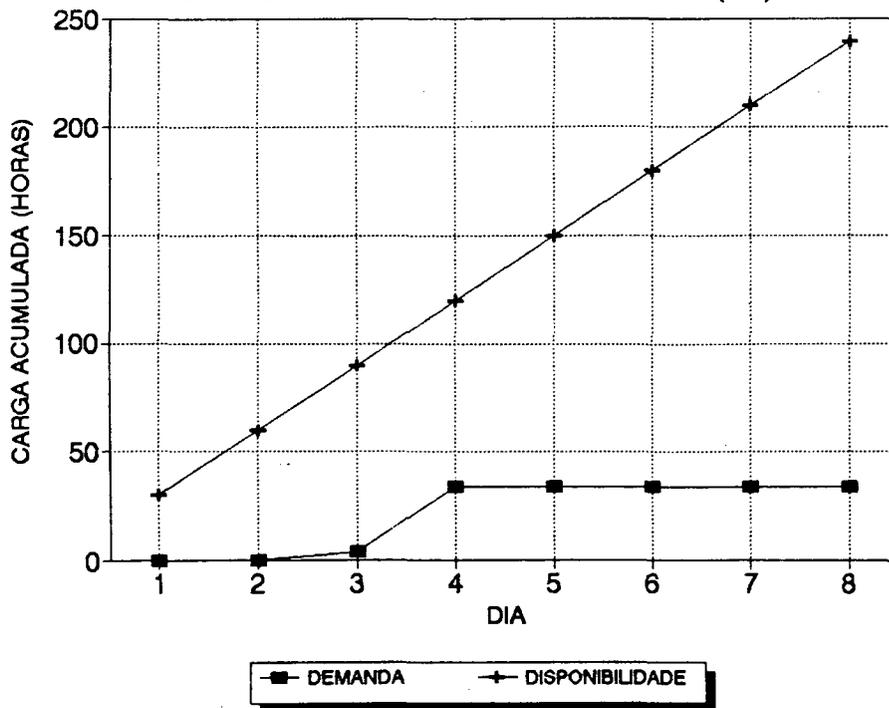


GRAFICO DE CARGA - EST 3 (MB)

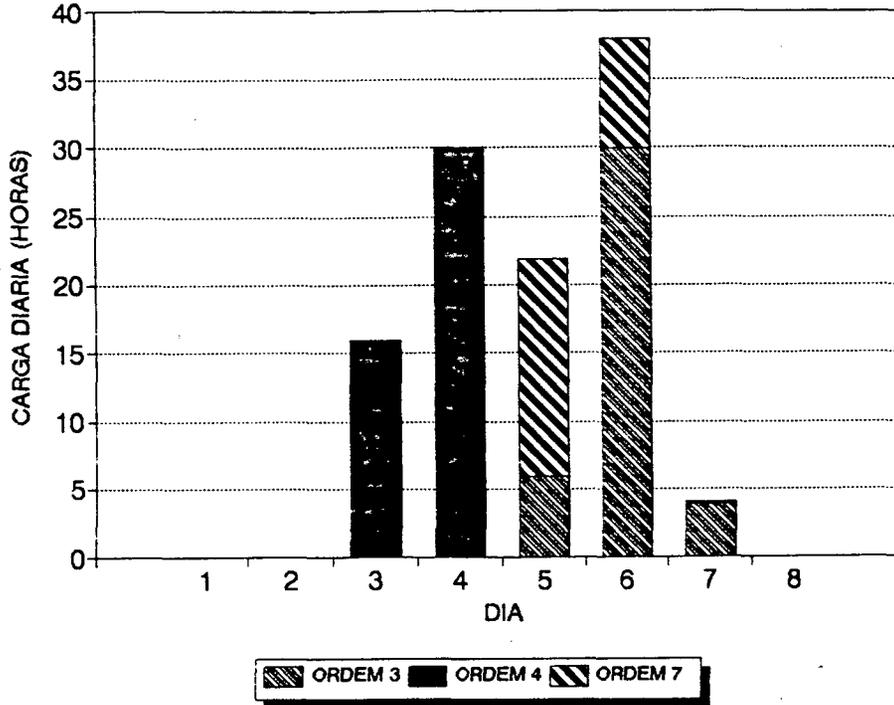


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 3 (MB)

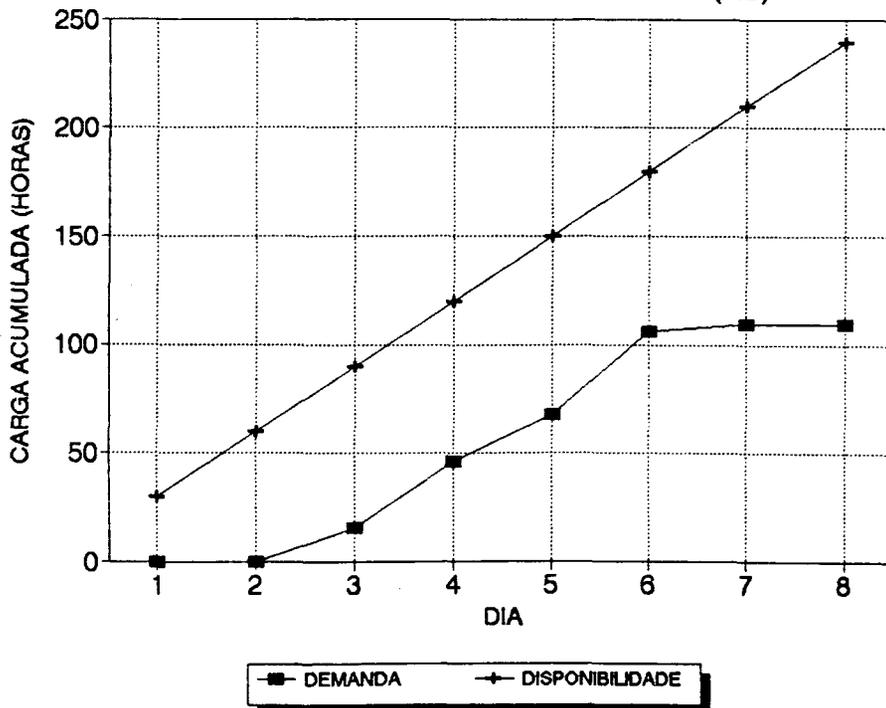


GRAFICO DE CARGA - EST 3 (MC)

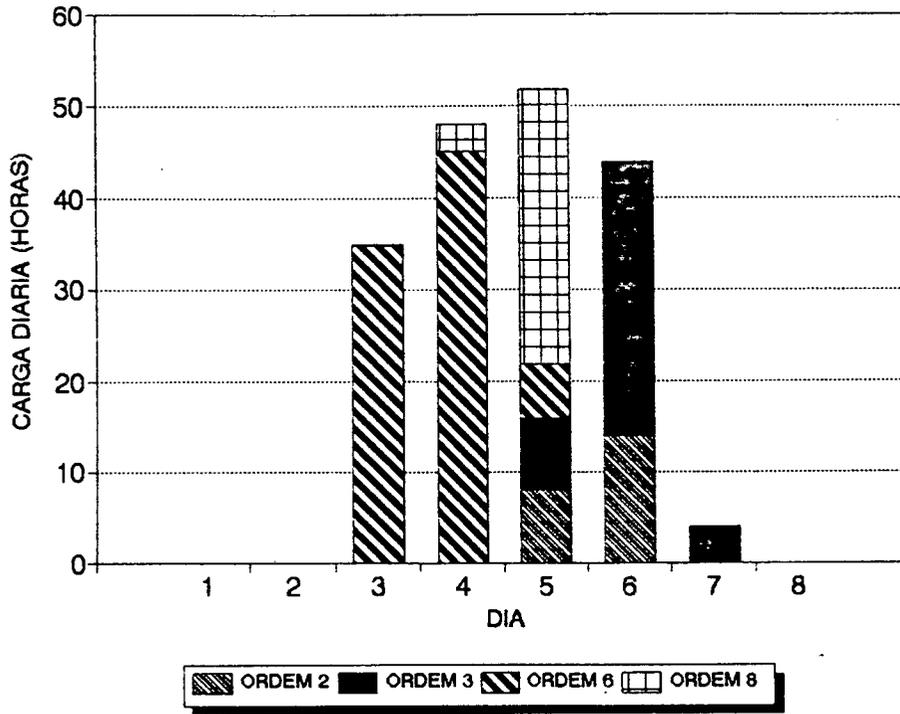


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 3 (MC)

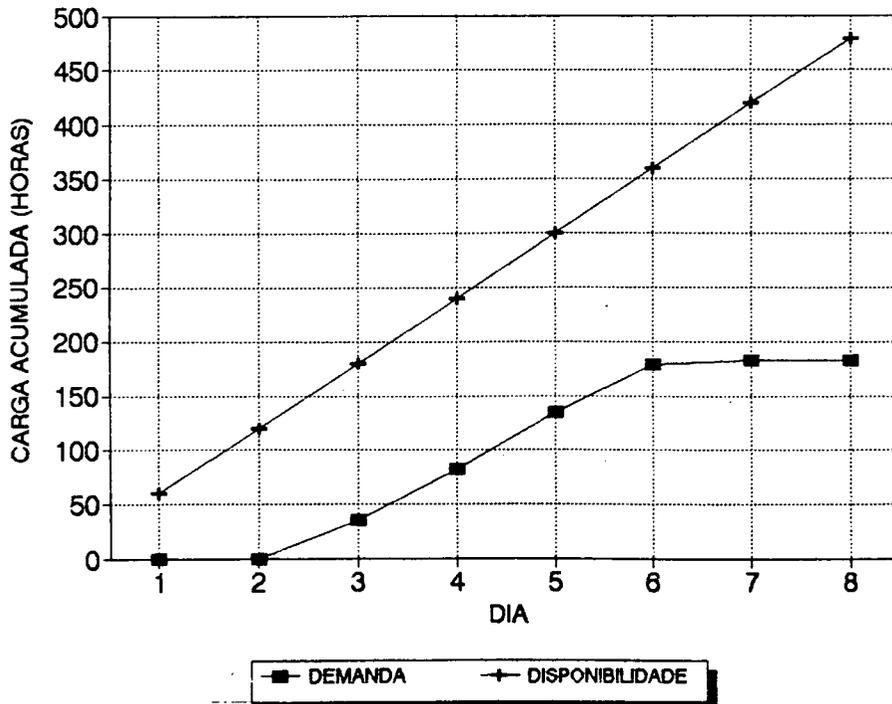


GRAFICO DE CARGA - EST 4

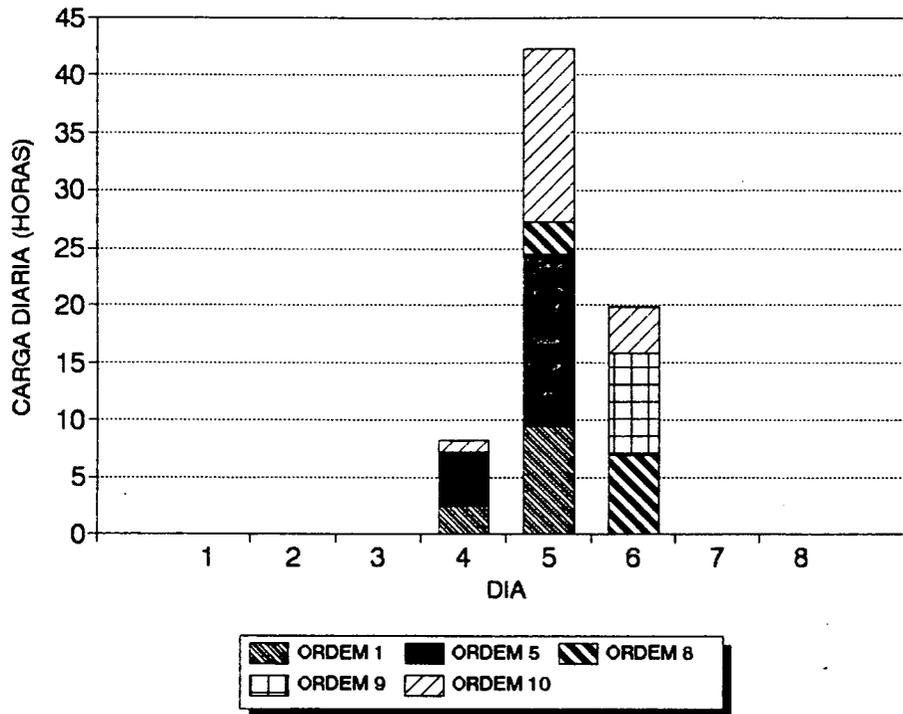


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA- EST 4

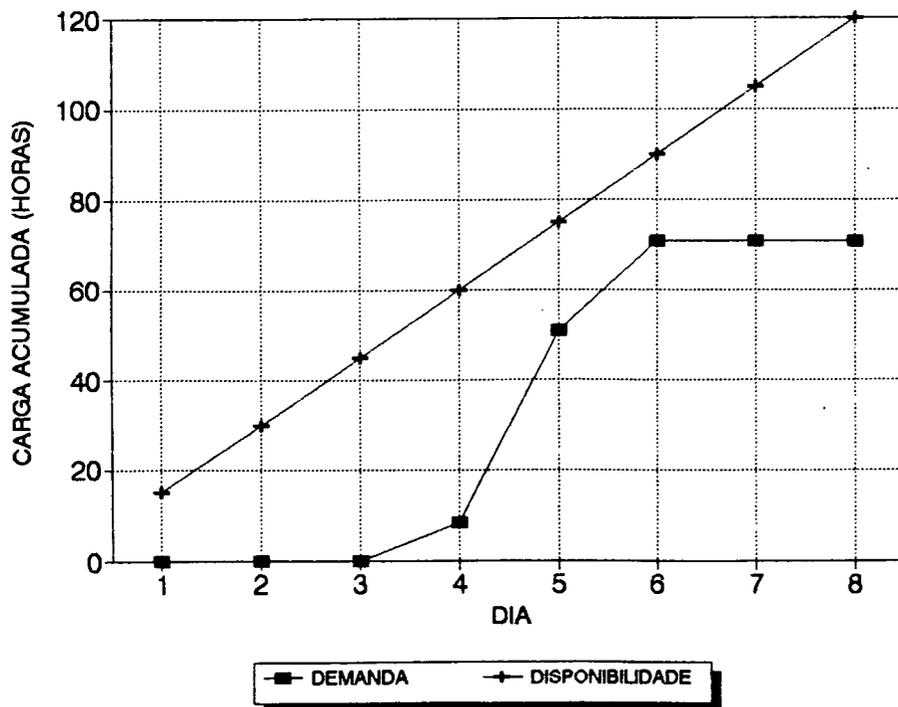


GRAFICO DE CARGA - EST 5

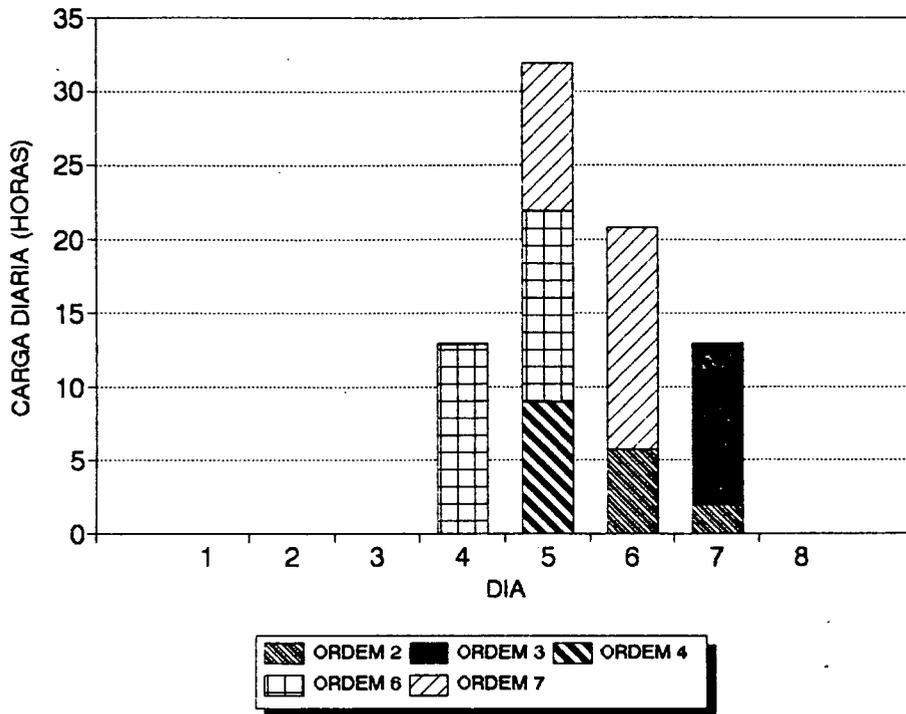


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA- EST 5

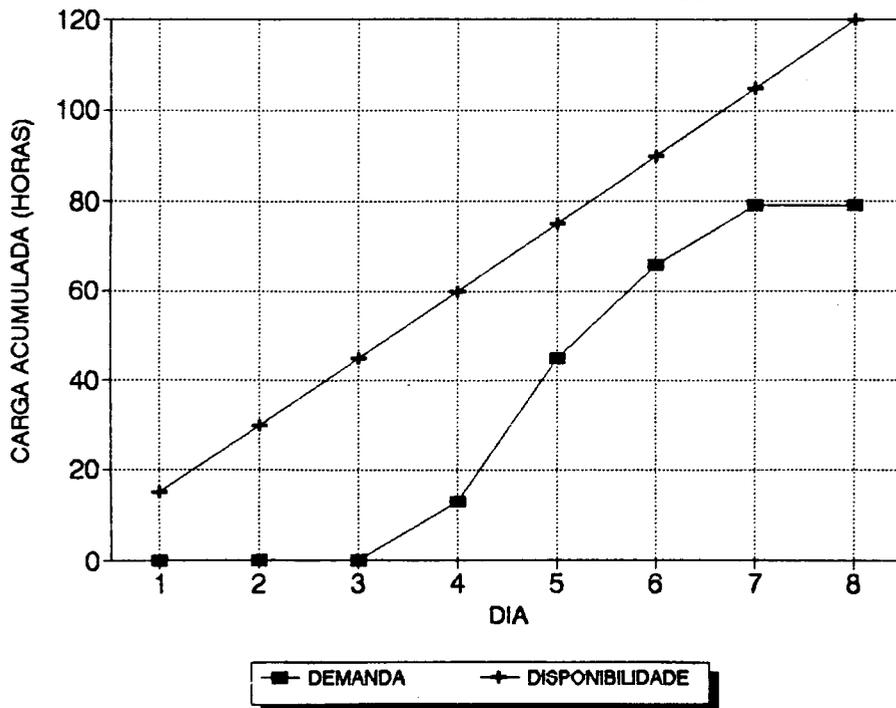


GRAFICO DE CARGA - EST 6

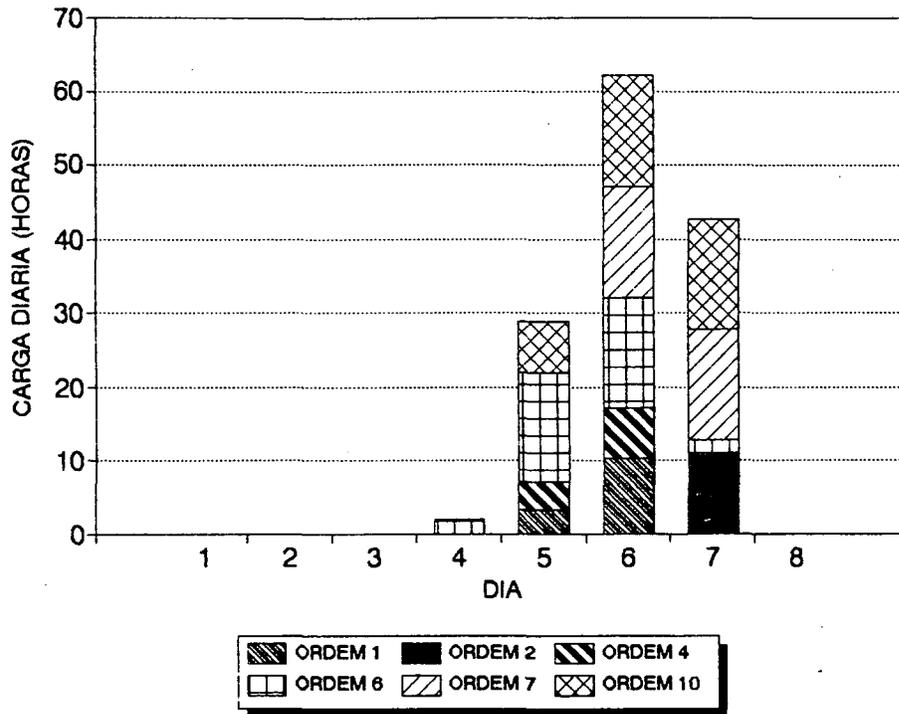


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA- EST 6

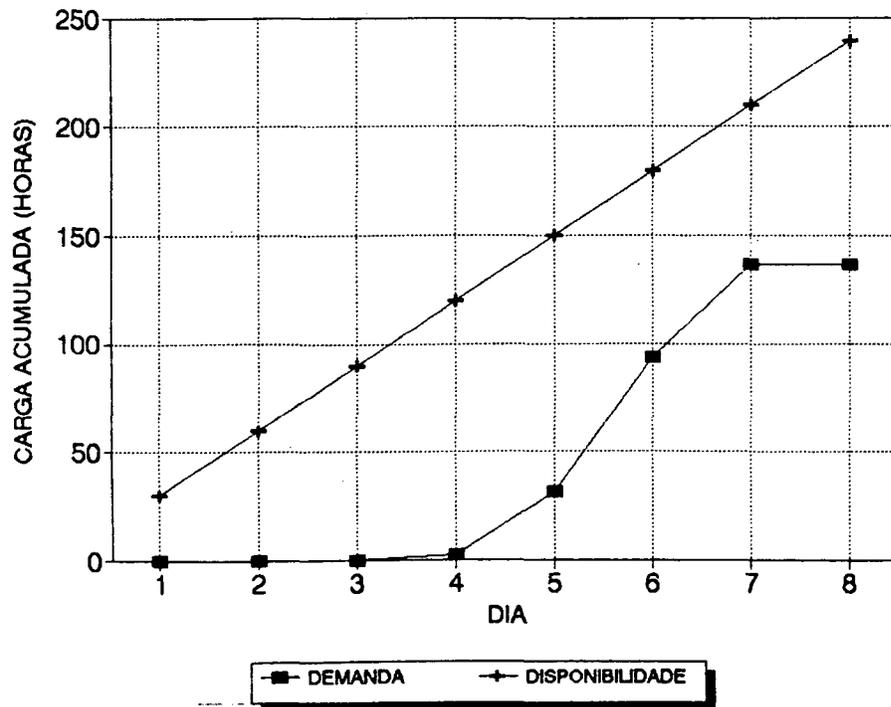


GRAFICO DE CARGA - EST 7

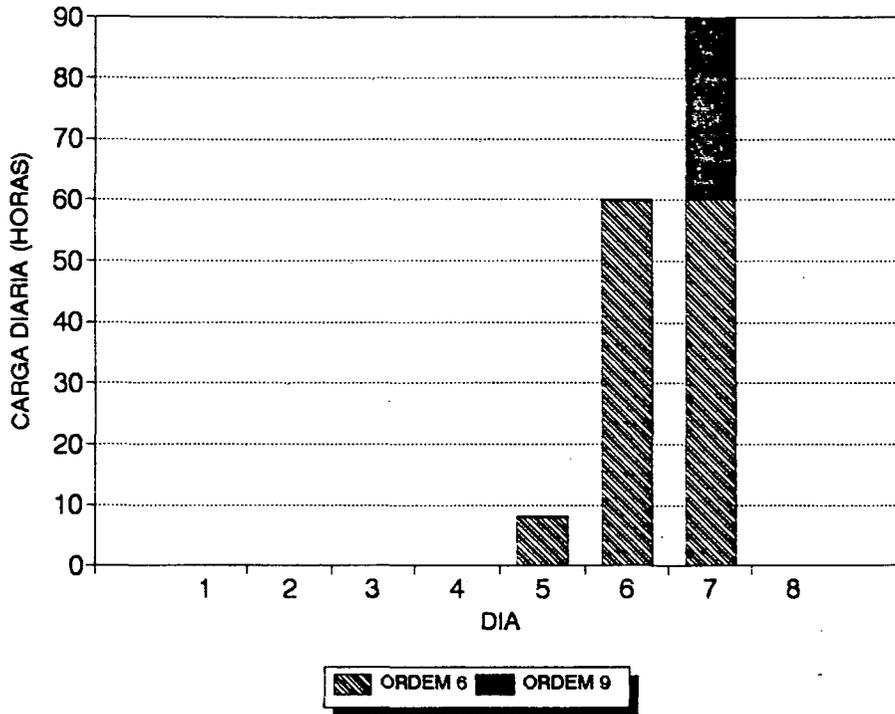


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA - EST 7

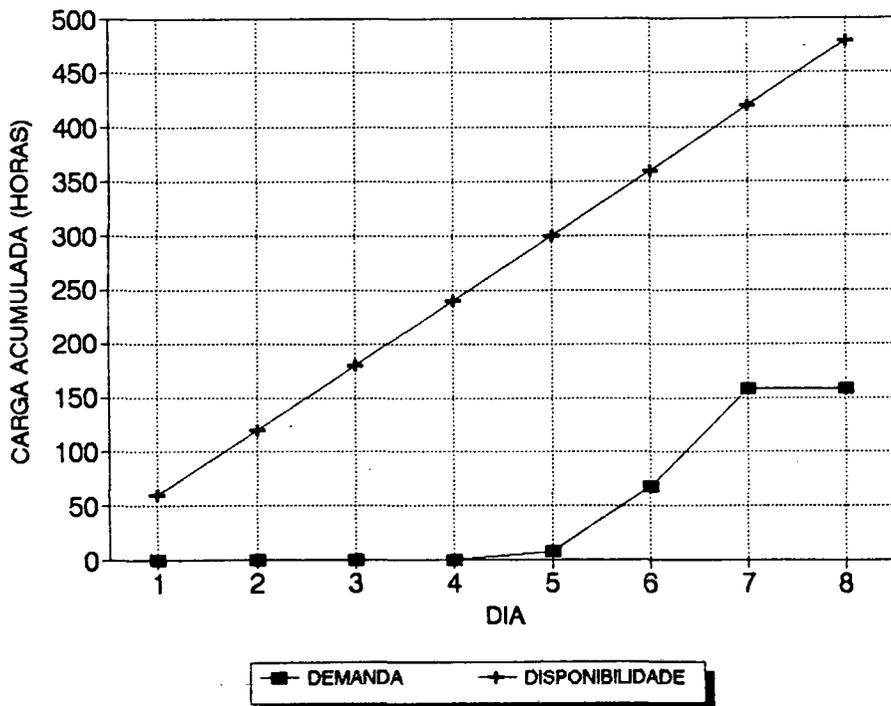


GRAFICO DE CARGA - EST 8

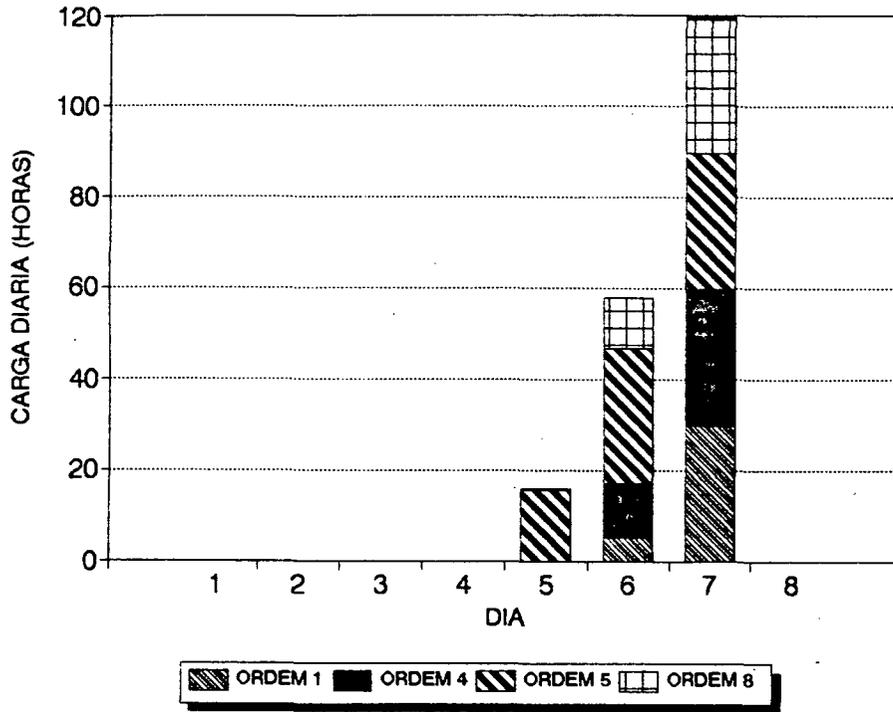
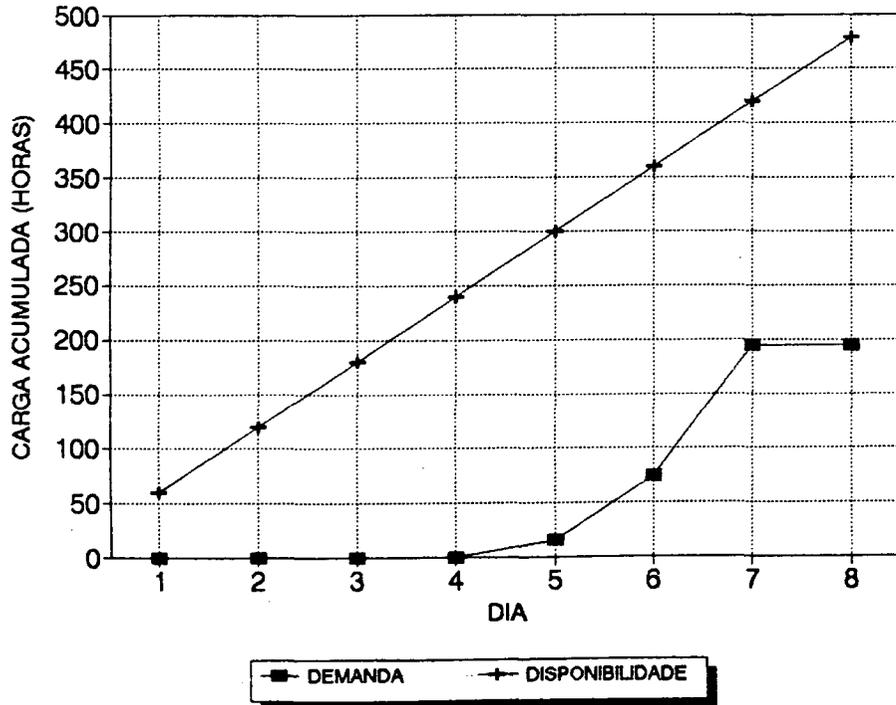


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA - EST 8



**ANEXO II - GRÁFICOS DE CARGA E CARGA ACUMULADA APÓS O  
BALANCEAMENTO**

GRAFICO DE CARGA - EST 1

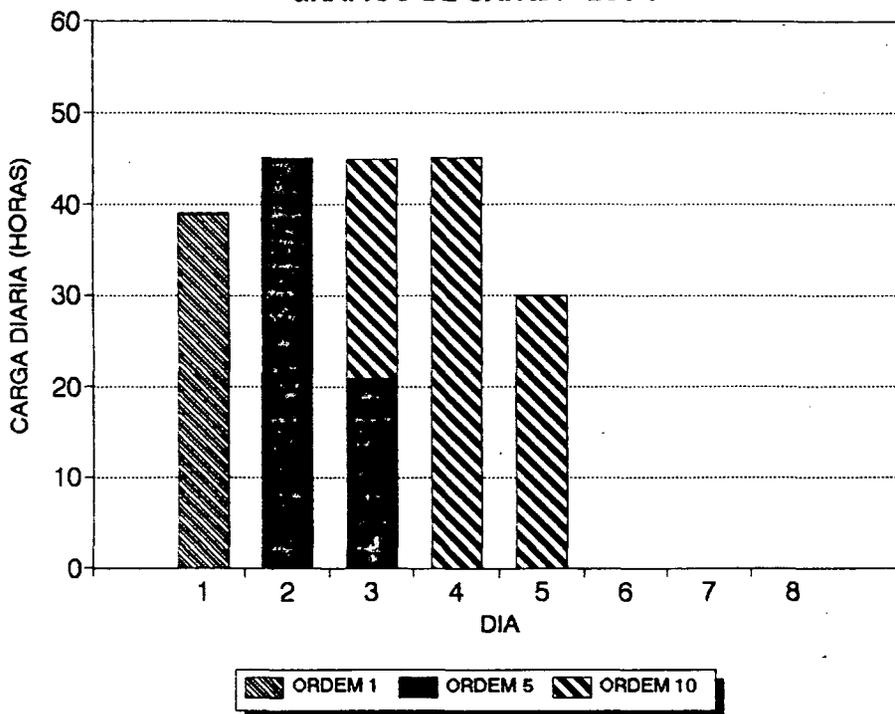


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 1

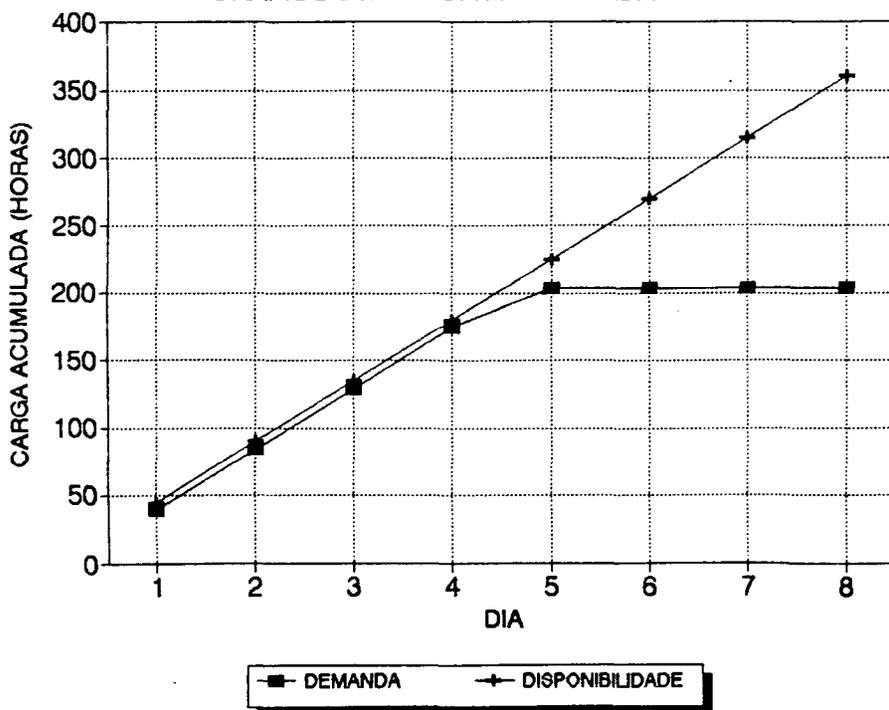


GRAFICO DE CARGA - EST 2

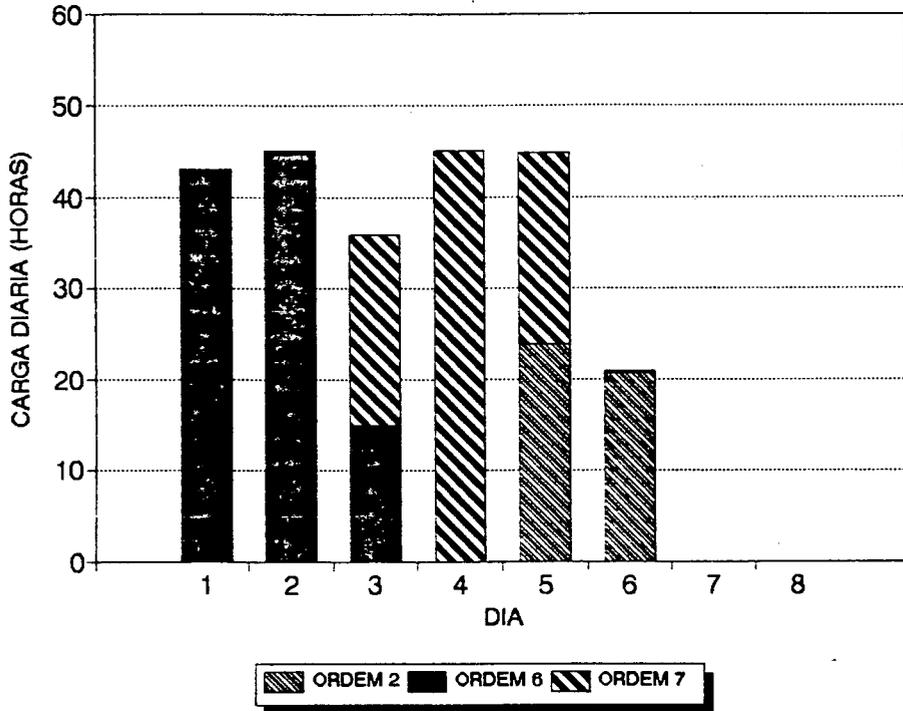


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 2

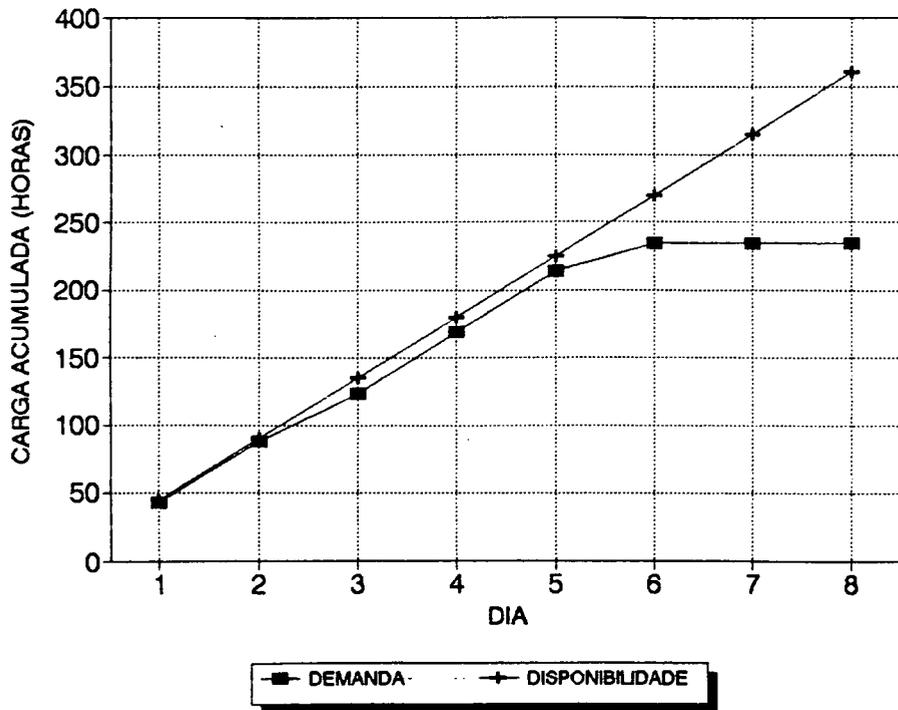


GRAFICO DE CARGA - EST 3 (MA)

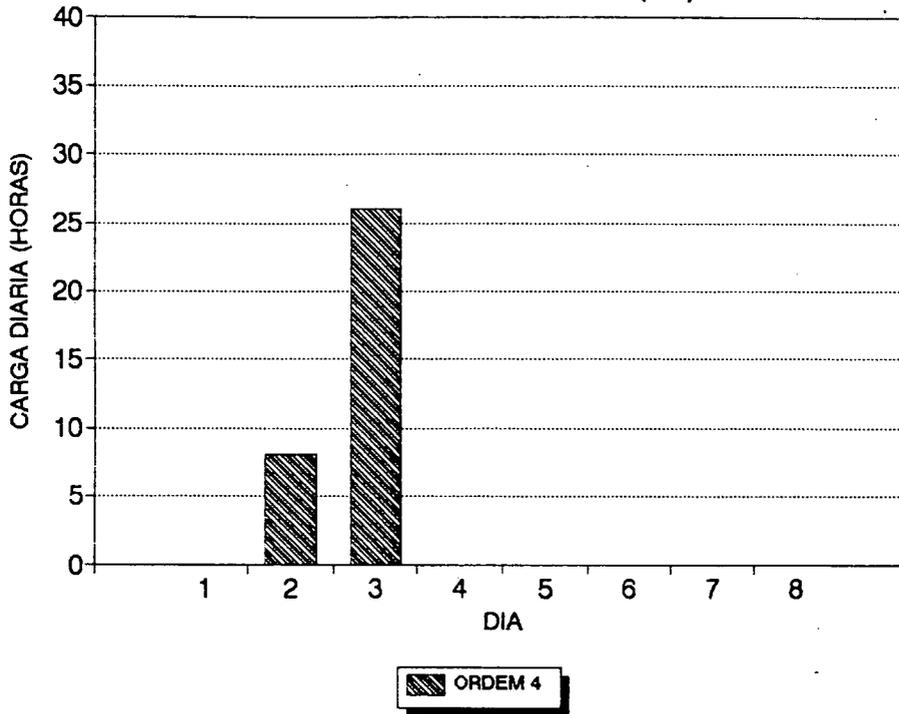


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 3 (MA)

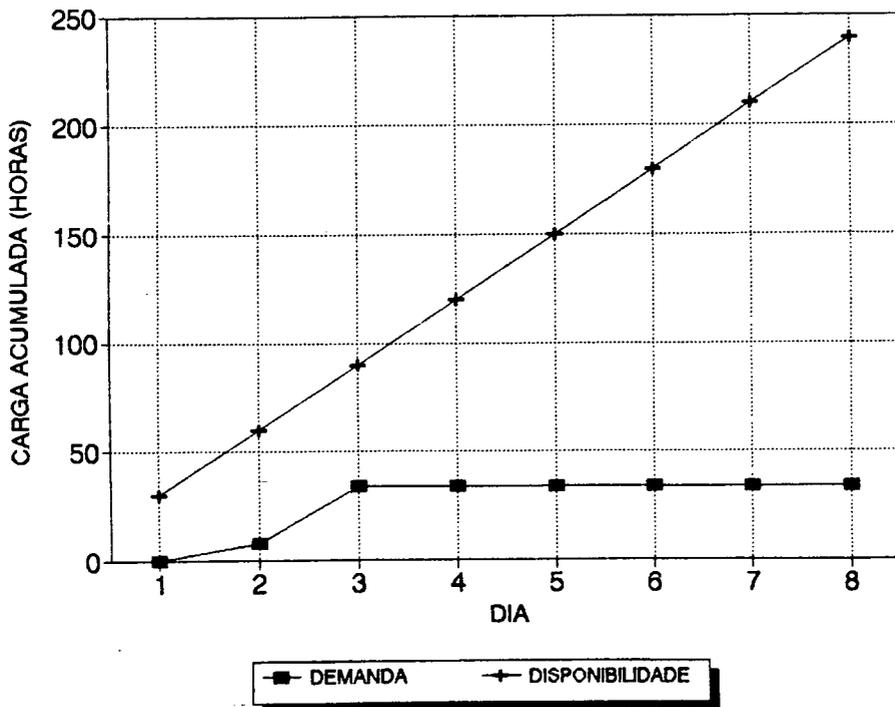


GRAFICO DE CARGA - EST 3 (MB)

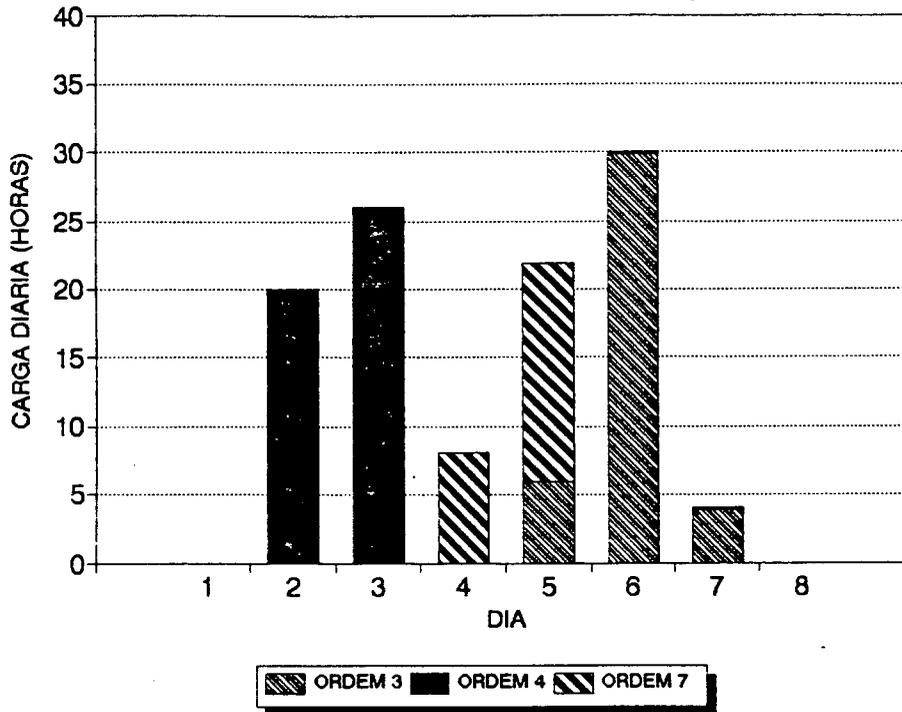


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 3 (MB)

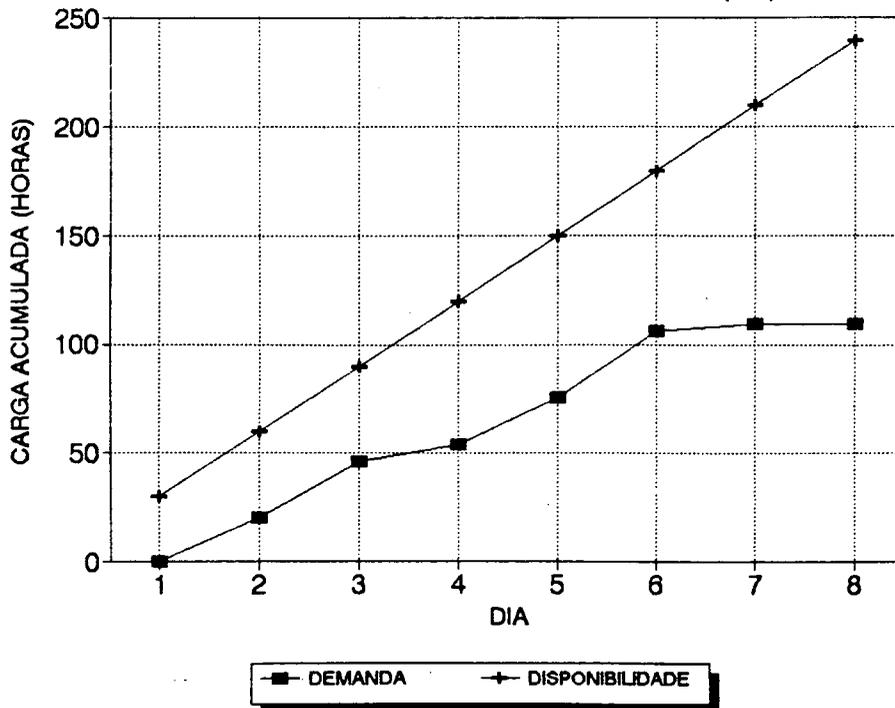


GRAFICO DE CARGA - EST 3 (MC)

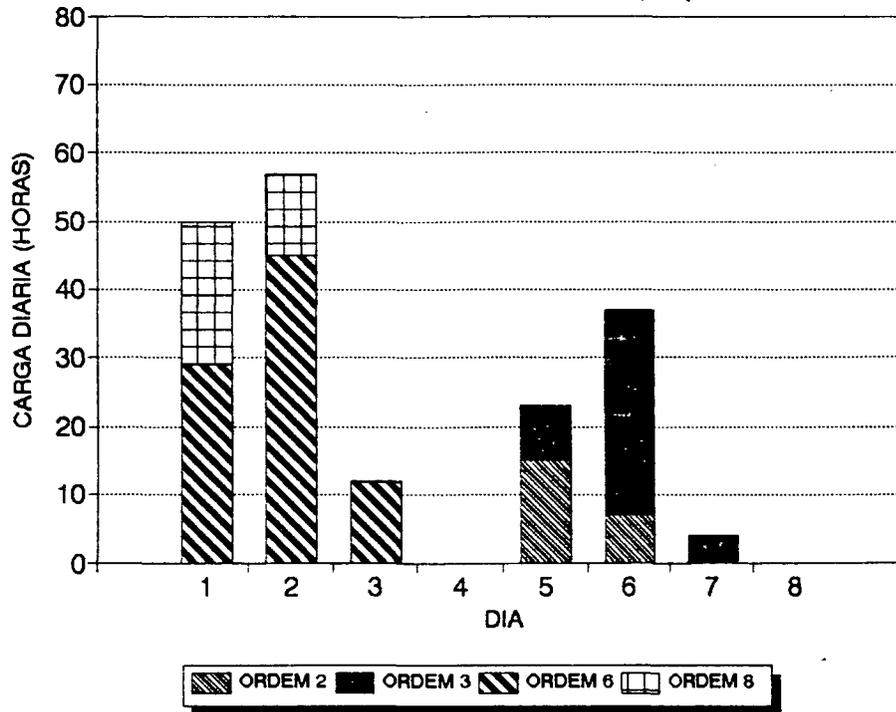


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 3 (MC)

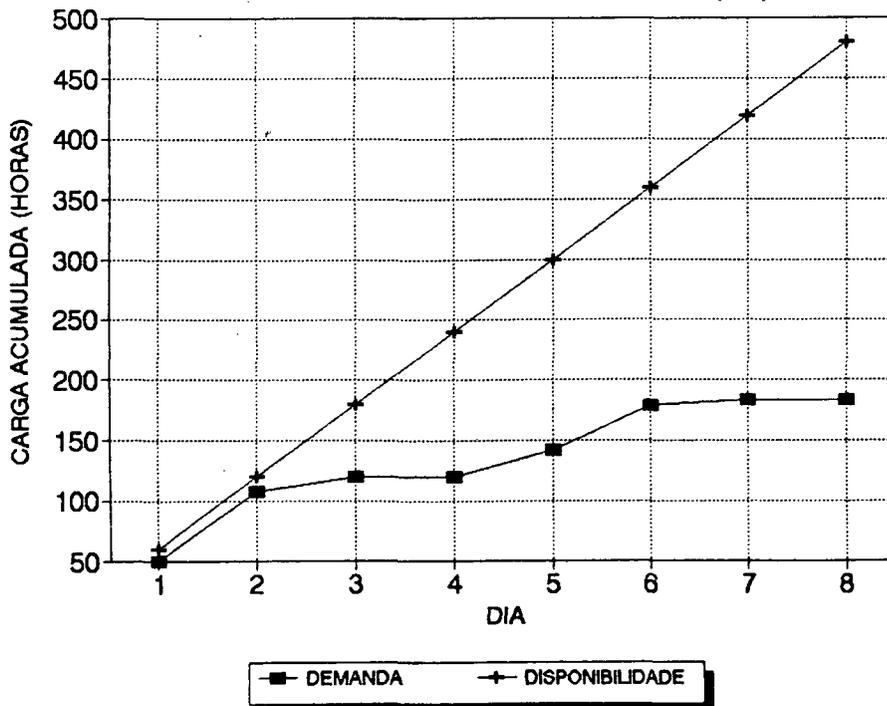


GRAFICO DE CARGA - EST 4

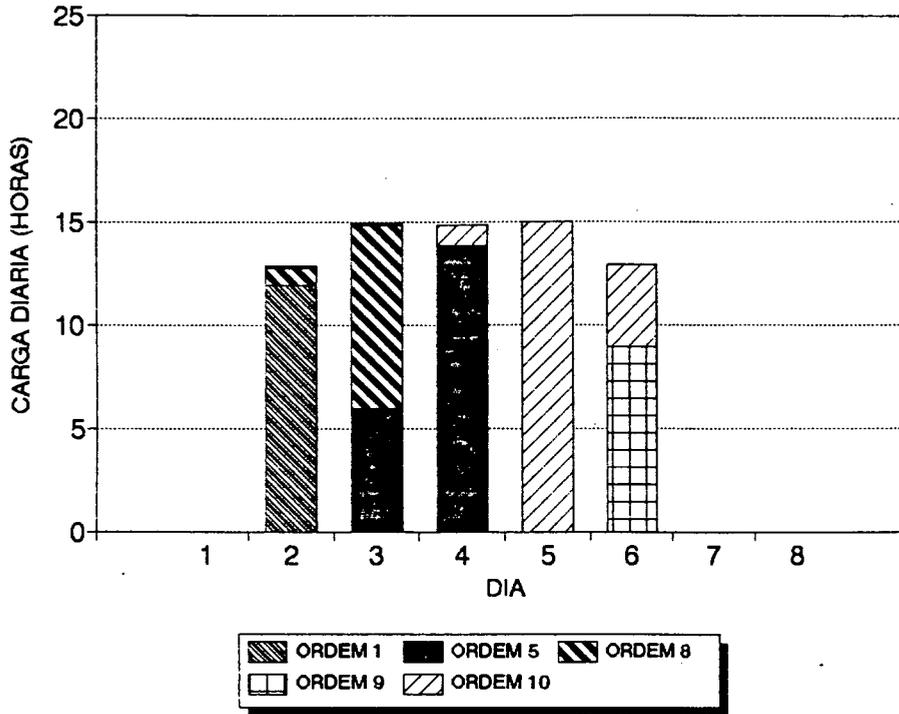


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 4

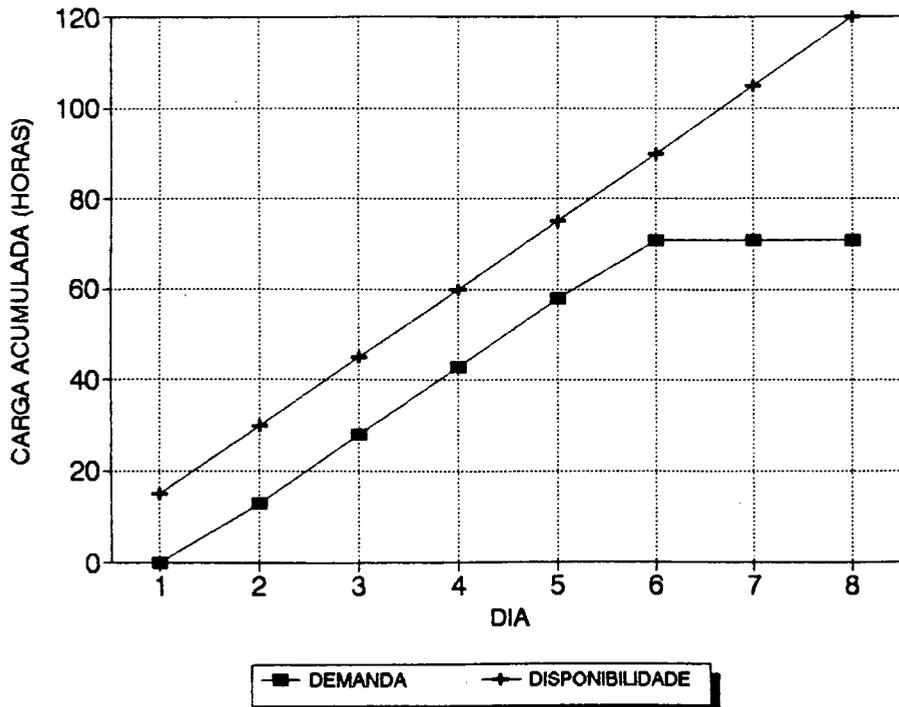


GRAFICO DE CARGA - EST 5

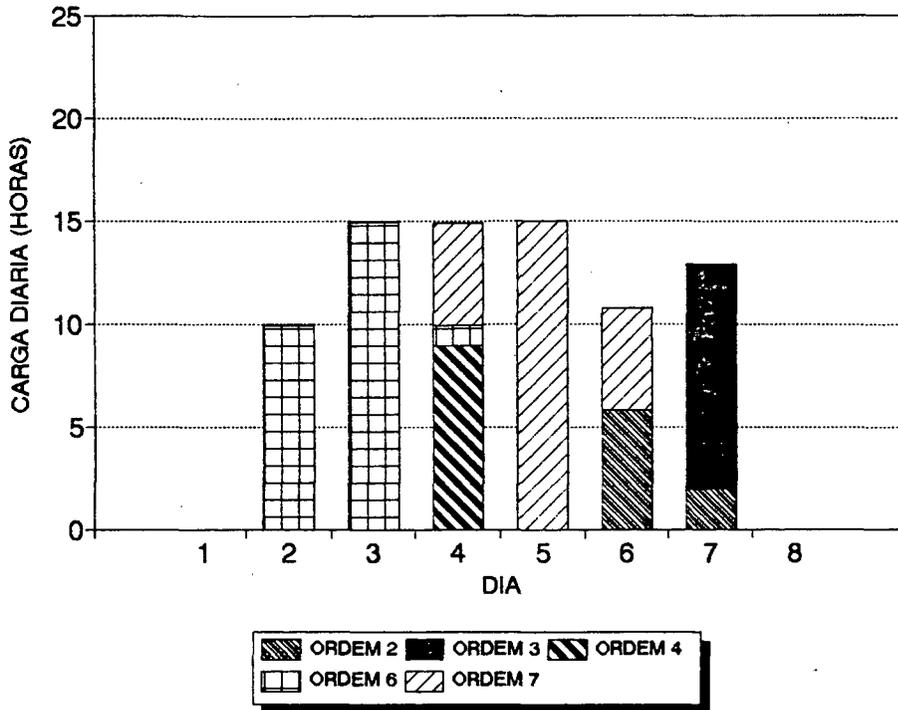


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA-EST 5

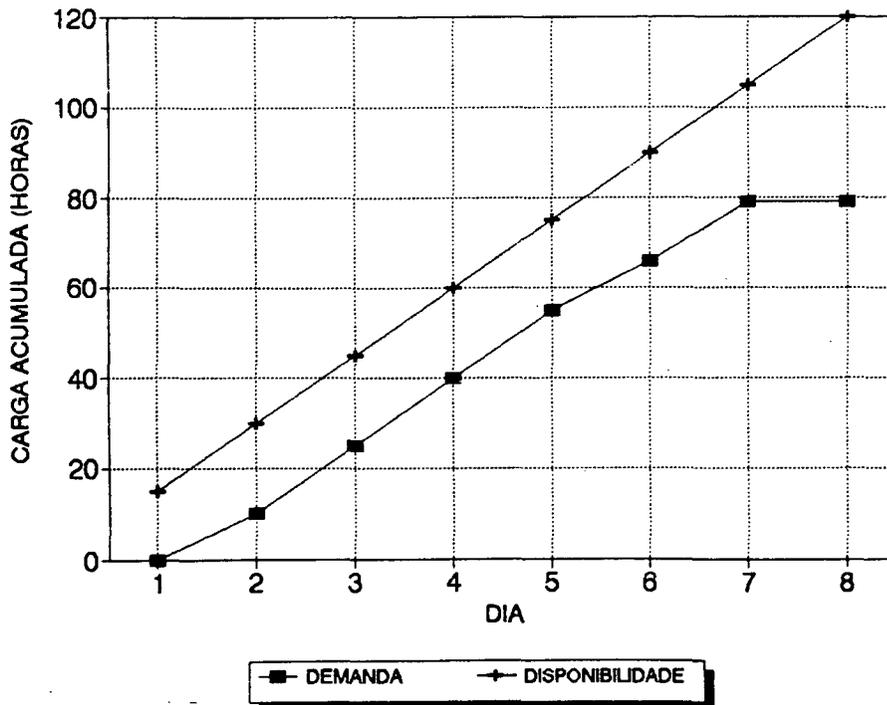


GRAFICO DE CARGA - EST 6

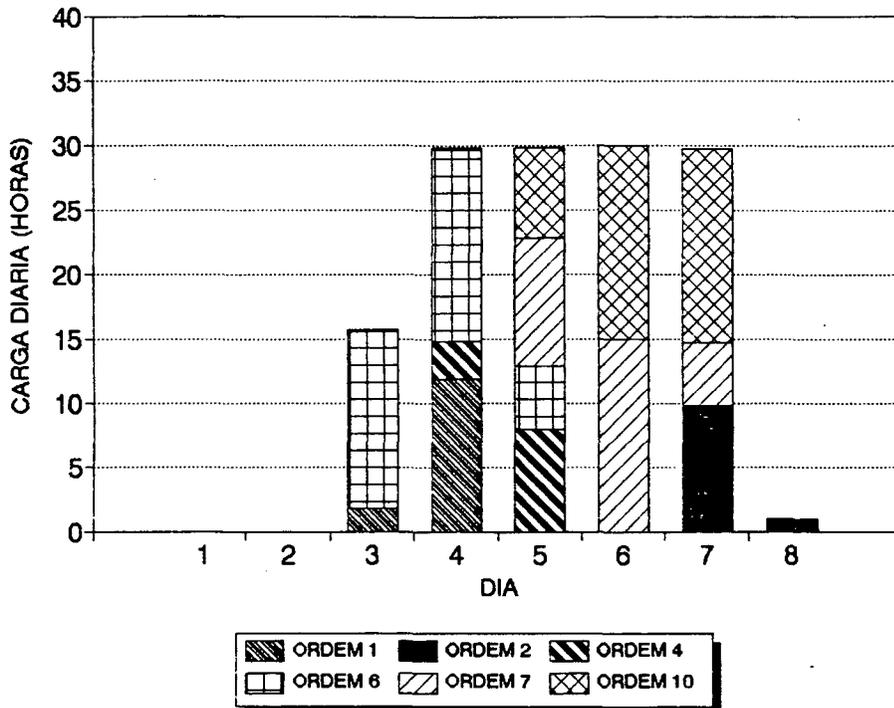


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA- EST 6

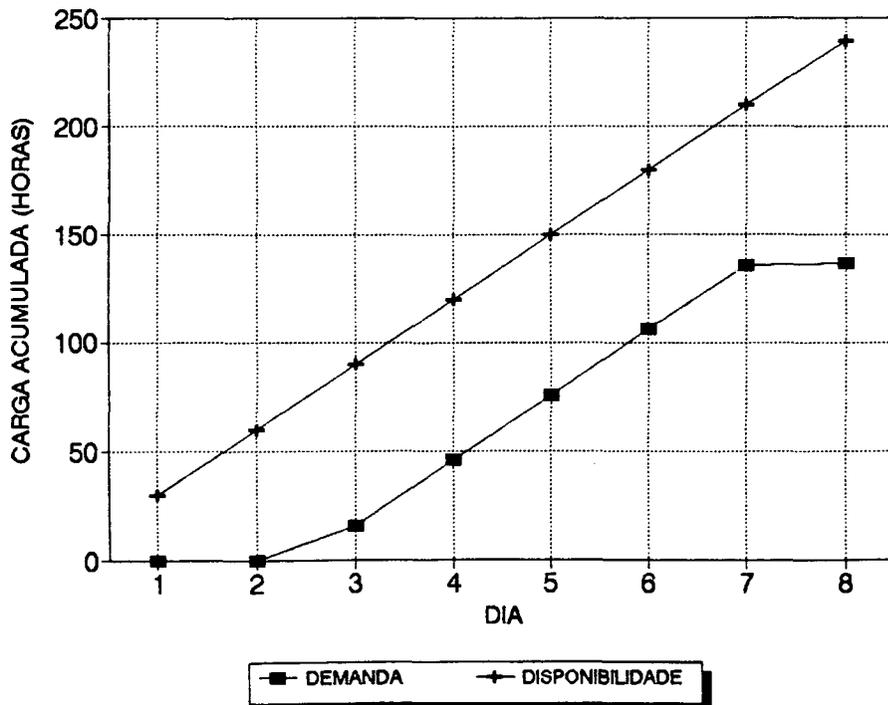


GRAFICO DE CARGA - EST 7

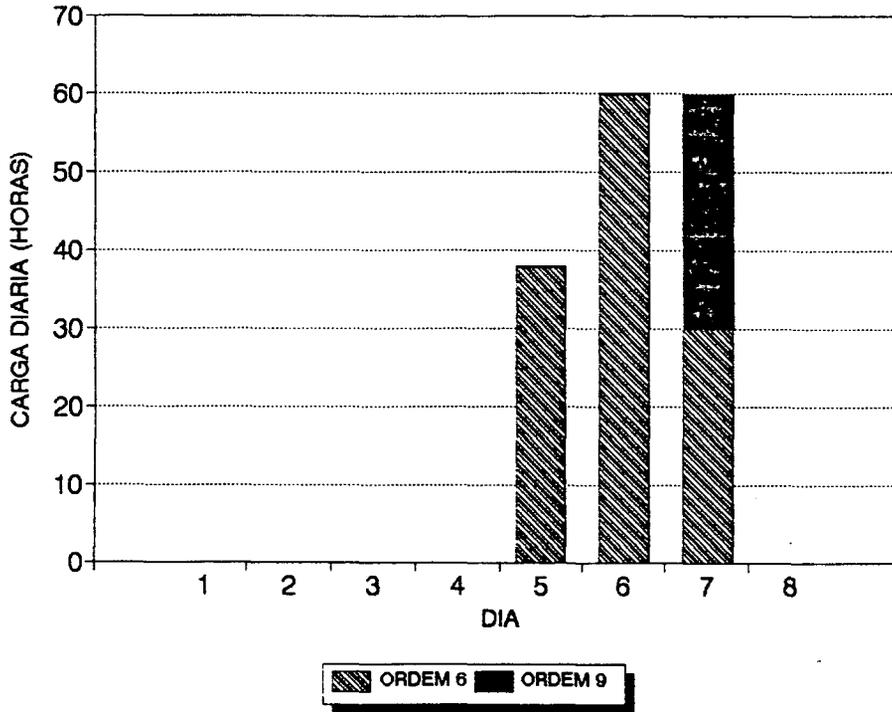


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA- EST 7

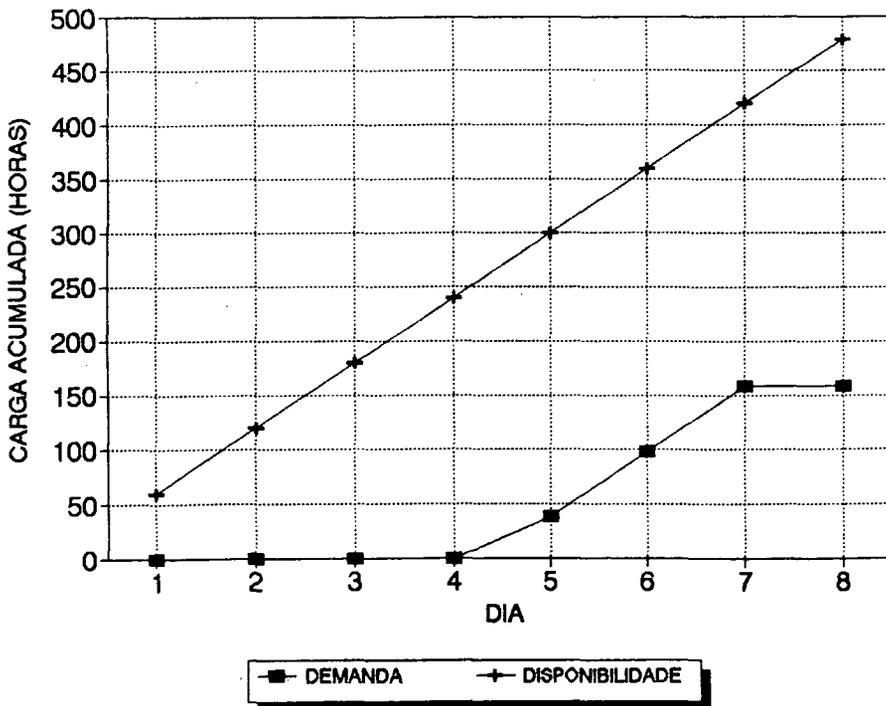


GRAFICO DE CARGA - EST 8

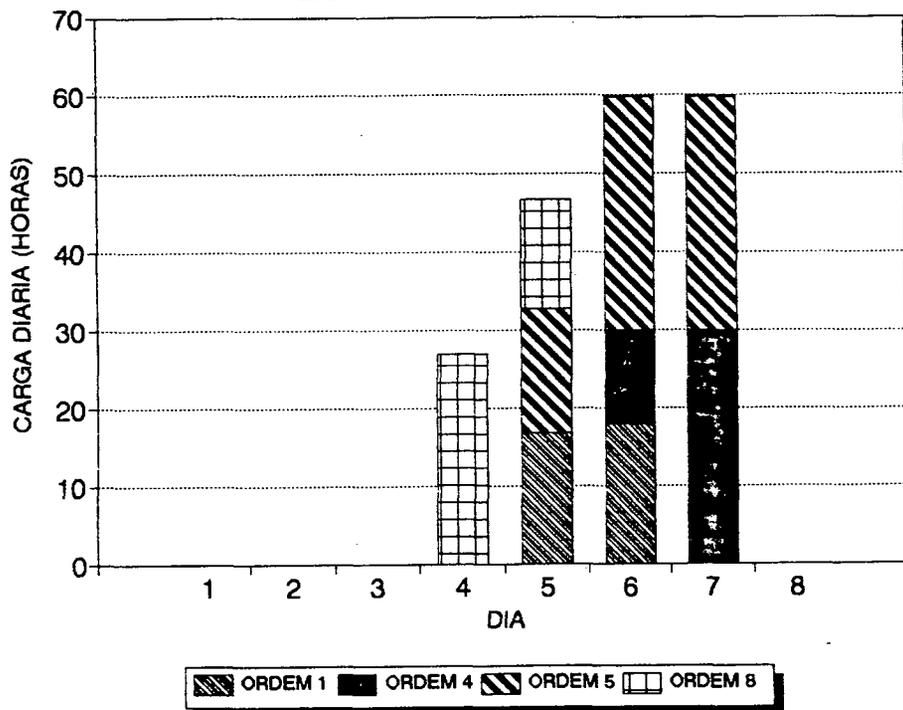


GRAFICO DE CARGA ACUMULADA- EST 8

