

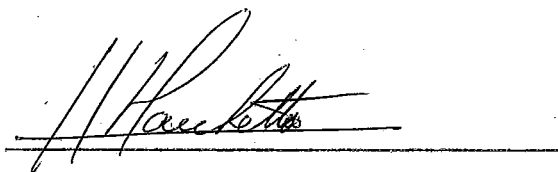
"CONCEITOS DE CONTROLE E DE PESQUISA OPERACIONAL

NA GESTÃO DA PRODUÇÃO"

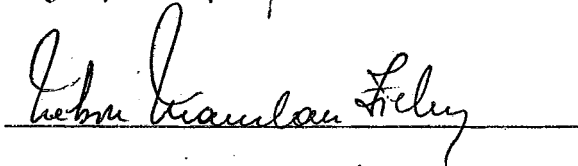

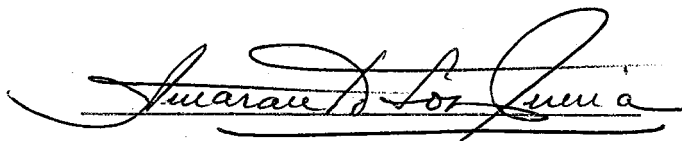
MARIA LIDIA CALDAS DE MOURA

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS(M.Sc.)

Aprovada por:



Presidente



RIO DE JANEIRO

ESTADO DA GUANABARA

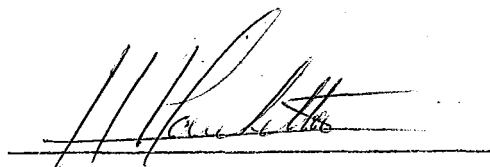
DeZEMBRO DE 1972

"CONCEITOS DE CONTROLE E DE PESQUISA OPERACIONAL NA  
GESTÃO DA PRODUÇÃO\*

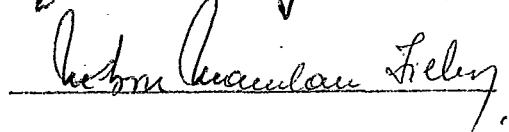
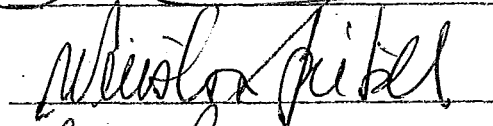
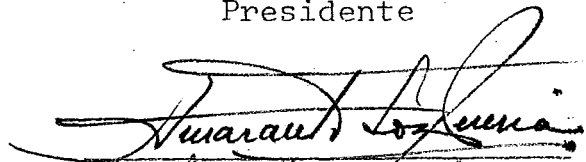
MARIA LIDIA CALDAS DE MOURA

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PRO-  
GRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NE-  
CESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS  
(M.Sc.)

Aprovada por:



Presidente



RIO DE JANEIRO

ESTADO DA GUANABARA-BRASIL

DEZEMBRO DE 1972

TÍTULO:

"CONCEITOS DE CONTROLE E DE PESQUISA OPERACIONAL NA  
GESTÃO DA PRODUÇÃO"

SUB-TÍTULO:

"UMA APLICAÇÃO DA DESCRIÇÃO POR DINÂMICA INDUSTRIAL  
E DAS NOÇÕES DE REALIMENTAÇÃO DE INFORMAÇÃO E DE  
HIERARQUIAS"

AGRADECIMENTOS

- \_ a HENRI MARCHETTA pela idéia e orientação;
- a NELSON MACULAN FILHO pela ajuda na fase de computação;
- a WINSTON FRITSCH pela ajuda na alocação de recursos;
- aos PROFESSORES do Programa de Sistemas pelos ensinamentos recebidos;
- ao RIO DATA CENTRO da PUC pela utilização de IBM/370 de suas instalações;
- ao CNPq e à COPPE pela ajuda financeira;
- a Luis TUPY C.DE MOURA pela correção do texto.



## SUMÁRIO

O objetivo do presente trabalho é aplicar conceitos de realimentação da informação e hierarquização na descrição da Gestão da Produção e, solucionar alguns problemas (alocação de recursos e sequenciação de ordens) dessa Gestão, utilizando algoritmos de Pesquisa Operacional.

Para isso, procuramos adicionar à atual descrição de Dinâmica Industrial o conceito de decisões amostradas e de organização e modificação de arquivos.

A Simulação do Sistema é utilizada como uma técnica de ajuda e de previsão ao processo da tomada de decisão.

ABSTRACT

The aim of this work is to apply the concepts of information feedback and hierarchization to the description of Production Control and to solve some related problems(resource allocation and sequencing) using some algorithms of Operational Research.

With this objective, we have tried to add to the present description of Industrial Dynamics , the concepts of discrete decision functions and the organization and change of files.

System Simulation is used as a technique for helping the decision-making process and in its forecasting.

ÍNDICE

Pg.

CAPÍTULO I: Introdução

1. Descrição qualitativa de Sistemas de Grande porte e da Gestão da Produção .....	1
1.1. Generalidades .....	1
1.2. O Processo da Decisão .....	8
1.3. Delimitação do assunto da tese .....	11
1.3.1. Dinâmica Industrial .....	11
1.3.2. Definição dos níveis .....	12
1.4. Resumo .....	14

CAPÍTULO II: Alocação de Recursos: Nível 2 de Decisão

2.1. Introdução .....	15
2.2. Formulação do problema .....	17
2.2.1. Funções custo .....	18
2.2.2. Formulação por Programação Linear ...	20
2.2.3. Resumo .....	24

CAPÍTULO III: Sequenciação das Ordens: Nível 1 de Decisão

3.1. Introdução .....	25
3.2. Ordenação de tarefas:algumas definições .....	27
3.3. Algoritmo para a ordenação de tarefas .....	30
3.4. "Flow-chart" do algoritmo para a sequenciação. ....	32
3.5. Um exemplo numérico .....	33

CAPÍTULO IV : Descrição por Dinâmica Industrial da Gestão da Produção.

4.1. Introdução .....	35
4.2. Organização e modificação de arquivos .....	38
4.2.1. Descrição detalhada .....	40
4.2.2. Levantamento das tabelas necessárias..	42
4.2.3. Símbolos novos utilizados .....	44
4.2.4. Arquivos iniciais .....	46
4.3. Ligação dos arquivos com o sistema .....	50
4.4. Diagrama de fluxos das decisões amostradas ..	52
4.5. Diagrama de fluxos dos níveis e arquivos .....	54
4.6. O processo contínuo de fabricação .....	55
4.7. Diagrama de fluxos da Processo contínuo .....	63
4.8. Diagrama de fluxos da Gestão da Produção ....	64

4.9. Equações do processo contínuo de fabricação .....	65
4.10. Parâmetros utilizados .....	66

## CAPÍTULO V: Simulação do Sistema e resultados

5.1. Simulação do sistema global e "flow-chart" .....	68
5.2. "Feedback" de informação .....	71
5.3. Dados de entrada para a simulação .....	73
5.3.1. Nível 2: alocação de recursos .....	73
5.3.2. Nível 1: sequenciação de ordens .....	75
5.3.3. Processo contínuo de fabricação .....	75
5.4. Resultados obtidos .....	76

## APÊNDICE I:

Rotina diária para a Gestão da Produção, num sistema de grande porte, utilizando simulação .....	AP-1
--	------

## APÊNDICE II

Listagens dos Programas .....	AP-10
-------------------------------	-------

<u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	AP-23
---------------------------	-------

## CAPÍTULO I

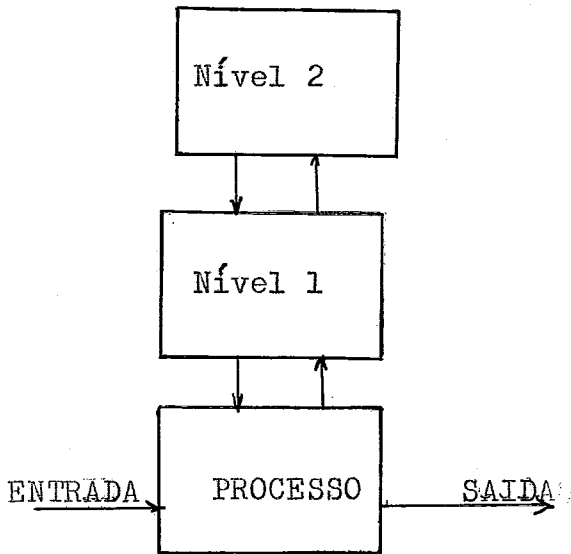
### 1. Descrição qualitativa de Sistemas de Grande Porte e da Gestão da Produção.

#### 1.1. Generalidades

Problemas de Sistemas de Grande Porte podem ser identificados através de uma estrutura de vários níveis hierarquizados. A base teórica de estudos de tais sistemas deixa muito a desejar do ponto de vista de sua praticabilidade e, na realidade, os algoritmos existentes para a resolução desses problemas se referem a uma estrutura em dois níveis. O sistema é controlado diretamente por "n" controles agindo diretamente sobre o processo e por um único controle que age sobre os "n" controles.

Tendo em vista o nosso objetivo, que é a Gestão da Produção, adotaremos uma estrutura a dois níveis, e então a nossa produção será controlada por dois níveis hierarquizados: o nível mais baixo é o de execução (dependendo mais diretamente do andamento do processo) e o nível mais alto é o de planejamento (não dependendo tanto das restrições do processo).

O objetivo do nível mais alto, ou seja, das decisões deste nível, é o de influenciar de tal forma os controles que agem diretamente sobre o processo, de modo que o objetivo do sistema em si seja alcançado. Logo, o nosso objetivo é de definir o problema do nível mais alto, através de sua ação no outro nível, para que obtenhamos o objetivo do sistema global.



Nível 2 : decisão para objetivos globais do sistema.

Nível 1: controle das diversas fases do processo.

Figura I.1 - Estrutura hierarquizada para a Gestão da Produção.

~~Procuraremos~~, agora, descrever qualitativa - mente a natureza de um sistema de produção. O sistema de produção tem entradas que representam, conforme o caso, clientes, pedidos, matérias primas, etc. Cada entrada é processada, de algum modo, através de uma série de operações, cuja sequência e número devem ser especificadas. Surge, então, o primeiro problema, "estático", isto é, em cada ponto, obter uma melhor sequência para os pedidos a serem processados, em vista das restrições tecnológicas, de custo, tempo, etc., de cada estágio do processo.

As saídas do nosso sistema podem ser partes completas, produtos, etc., dependendo do caso particular do sistema em estudo. Junto ao Sistema de Produção tem que existir, necessariamente, um sistema de informação servindo como base para uma realimentação contínua de informações a respeito do andamento do trabalho, sua qualidade e outros fatores (tais como nível de estoque, etc.), necessários para um melhor controle do processo. O diagrama do sistema de produção, junto com o seu sistema de informação, está representado na figura I.2 anexa.



Utilizando tal modelo, podemos, de um modo geral, descrever os principais problemas que surgem na Gestão da Produção, isto é, nas decisões relacionadas com a operação e controle da produção a curto, médio e longo prazo. Na Gestão da Produção, nós nos propomos a tratar do problema a curto e longo prazo e, tendo em vista as decisões necessárias, o que de imediato se impõe é o problema do controle da produção: decisões devem ser tomadas a respeito de como se deve alocar a capacidade produtiva em consistência com a demanda; sequências devem ser elaboradas, dependendo do tempo de realização das máquinas, custos, etc., e, além disso, o fluxo da produção (e o das ordens) deve ser controlado. Cumpre observar que muitos dos problemas inerentes a um sistema de produção interagem entre si e que, na maioria das vezes, é difícil quantificar e/ou formular esta interação.

Os métodos para obtermos os nossos objetivos podem ser divididos em:

(i) métodos heurísticos: isto é, utilizarmos uma dada regra que dê certo na prática; assim, por exemplo, em muitas indústrias a sequenciação das ordens é

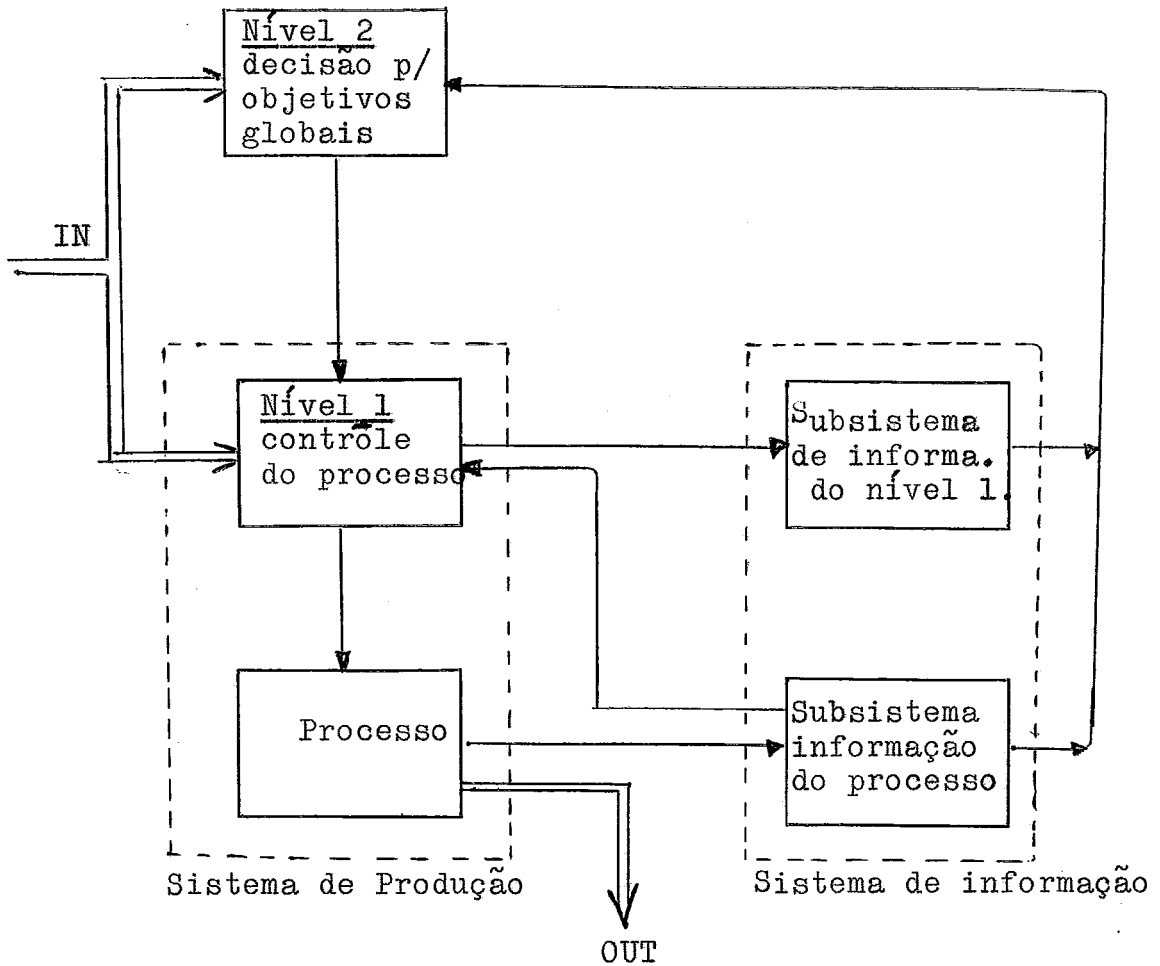


Figura 1.2 - Sistema de informação e de Produção: estrutura com controle a dois níveis hierarquizados.

feita através um critério prático de prioridades;

(ii) métodos Iterativos - isto é, utilizando-se o método se aproximações sucessivas, ir, iterativamente, obtendo um controle "quase" ótimo;

(iii) simulação - que é geralmente usada como / uma técnica de previsão do sistema em estudo; isto é, através de entradas controladas, pode-se ter o comportamento do sistema; deste modo, as informações recebidas através da simulação ajudam (com a previsão) no processo de tomada de decisões;

(iv) métodos analíticos - isto é, obtermos um modelo matemático do sistema em estudo.

A pesquisa para um modelo matemático, global , de um sistema para a gestão da produção, é dificultada por diversos fatores (assim como, por exemplo, os custos de excesso e falta de estoque, seu relacionamento com a sequenciação , falha nas máquinas, etc.) que deveriam entrar em cogitação; na prática, vale assinalar que só poderíamos obter modelos matemáticos de "partes" do sistema, e utilizar a simulação para o sistema global.

A descrição, do ponto de vista de sistemas, de uma Gestão da Produção é de real importância quanto ao estudo de seu comportamento dinâmico, isto é, quanto aos efeitos causados por perturbações.

Há, atualmente, um grande interesse pelo estudo de sistemas automáticos de controle, o que tem provocado um desenvolvimento de conceitos de controle aplicados aos sistemas em estudo.

Grande parte de problemas de controle de nível gerencial podem ser encarados dentro desse prisma. No nosso sistema de Gestão da Produção, a realimentação é feita / através de um fluxo de informação. Com base nisso e nas noções de Dinâmica Industrial, procuraremos descrever a Gestão da Produção, através de equações matemáticas que regem partes do sistema (decisões, fluxos), e, utilizando a simulação do sistema global, procuraremos prever o comportamento do nossa gestão.

## 1.2 - O Processo da Decisão

Uma das atividades mais críticas e delicadas de uma organização/sistema é a de tomar "decisões". Um esquema simplificado da tomada de decisões é:

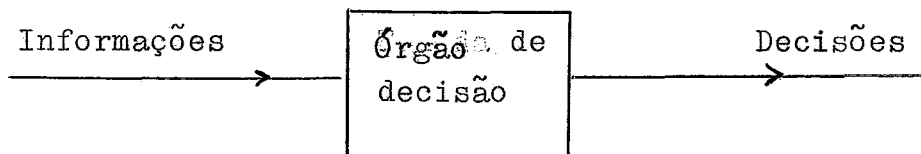


Figura 1.3 - Modelo simplificado, sem realimentação, de uma tomada de decisão.

A razão de nossa ênfase no desenvolvimento de uma metodologia que contribua para uma real ajuda no processo de tomar decisões é que o problema de desenvolver modelos, para uso de um nível mais alto de decisão (nível gerencial), não é uma tarefa simples, pois:

(i) bons modelos são difíceis de serem elaborados - modelos convincentes que incluam as variáveis / pertinentes à decisão e, que ao mesmo tempo, sejam globais , são não só difíceis de serem construídos como de pouca praticabilidade;

(ii) um modelo de tal tipo tenderia a ser muito complicado, tanto do ponto de vista de seu entendimento como de sua implantação.

Empresta-se atualmente, uma grande ênfase à projeção de ciências de computação e sistemas aos pontos de vista dos níveis gerenciais, com a finalidade de elaborar uma metodologia que sirva de auxílio para a tomada de decisões. O objetivo é desenvolver "Sistemas de decisão semi-automáticos" ("Man-machine decision systems - MMDS").

Visando a esse objetivo, o que nos parece importante é:

(i) desenvolver um sistema geral de decisão, para que tenhamos uma visão integrada tipo MMDS;

(ii) fazer experiências dinâmicas , através de simulações, de modo a refinar a metodologia de tais tipo de sistemas.

A filosofia dessa ênfase, centralizada no processo de decisão, é que a informação só é válida quando afeta o processo da decisão; assim, a tomada de decisão mais o processo da decisão são explicitamente considerados como parte do sistema global.

### 1.3. Delimitação do assunto da tese

#### 1.3.1. Dinâmica Industrial

A Dinâmica Industrial é uma metodologia, que utiliza técnicas de simulação, baseada numa realimentação na tomada de decisões, através um fluxo de informação. O seu objetivo é o de ajudar no processo da tomada de decisão, através do estudo dinâmico dos efeitos de perturbações no sistema.

O nosso processo de produção será descrito segundo a metodologia de Dinâmica Industrial.

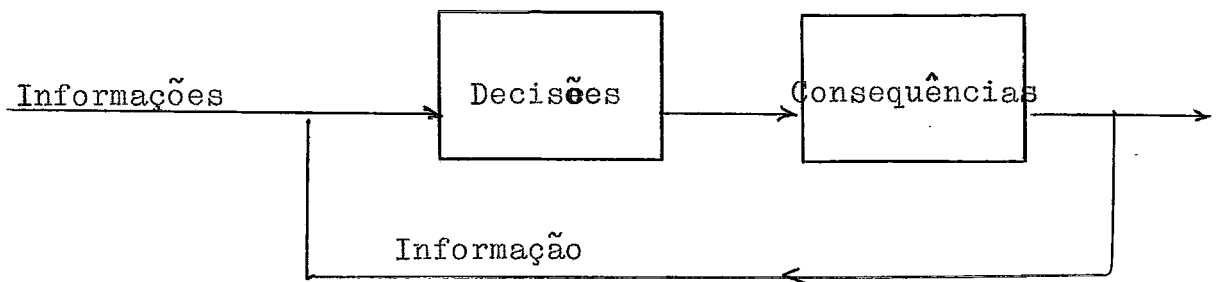


Figura I.4 - Realimentação de informação numa tomada de decisão.



Na atual descrição de Dinâmica Industrial, vários problemas não foram detalhados, tais como:

(i) representação e descrição de arquivos necessários para manter o sistema em estudo;

(ii) modificação de arquivos;

(iii) identificação e modelagem dos "delays";

(iv) representação de decisões amostradas; a Dinâmica Industrial, como até agora representada, faz a suposição de fluxos contínuos e, conseqüentemente, funções de decisões tomadas continuamente, o que não é verdade para todos os tipos de decisões.

### 1.3.2. Definição dos níveis

Como já foi dito na introdução, o nosso propósito é estudar a gestão da produção, com controle a longo e curto prazo e identificando uma estrutura a dois

níveis hierarquizados e estendermos a metodologia da Dinâmica Industrial à padronização dos problemas dos itens (i), (ii) e (iv) do parágrafo anterior, de modo a termos uma visão integrada do nosso sistema.

Com essa finalidade, definiremos como nível 1, o da sequenciação de ordens tomada a um intervalo  $t_1$ . O nível 2, nível superior da hierarquia, é definido como o da alocação de recursos - decisão feita com frequência  $t_2$ ; onde  $t_2 > t_1$ , e, muito provavelmente,  $t_2$  é múltiplo inteiro de  $t_1$ .

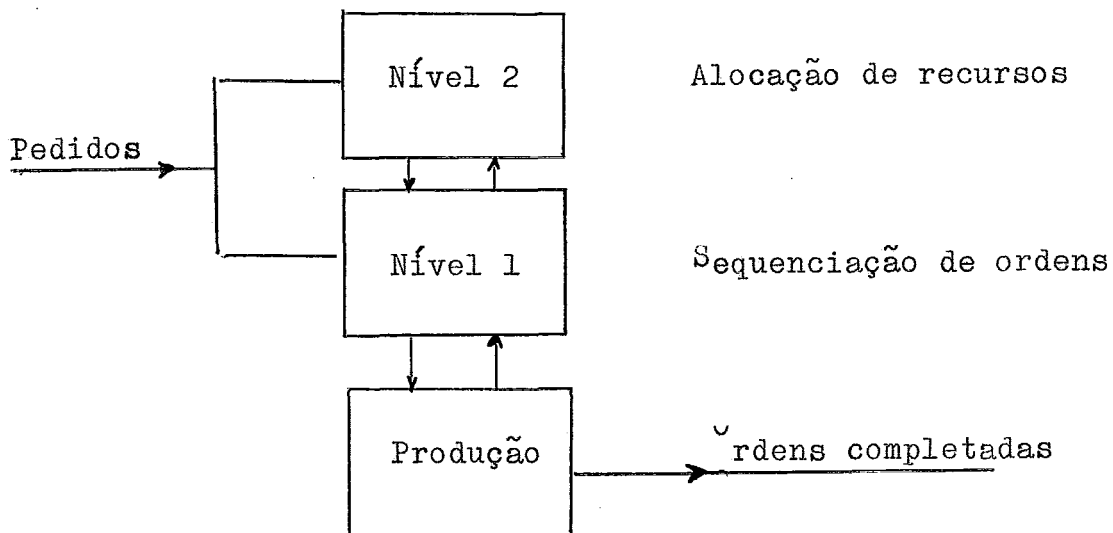


Figura I.5 - Estrutura hierarquizada da Gestão da Produção: definição dos níveis.

#### 1.4. Resumo

A nossa tese se divide, portanto, em:

- Alocação de Recursos - decisão do nível 2 da estrutura hierarquizada;
- Sequenciação das ordens - decisão do nível 1 da estrutura hierarquizada;
- O processo de Produção - descrição do processo contínuo por Dinâmica Industrial - O sistema global com os níveis hierarquizados.
- Simulação do sistema e experiências dinâmicas.
- Conclusões.

## CAPÍTULO II

### ALOCAÇÃO DE RECURSOS: NÍVEL 2 DE DECISÃO

#### 2.1. Introdução

Na nossa gestão da produção, definimos o problema a longo prazo (nível 2 da estrutura hierarquizada) — o da alocação de recursos, ou seja, a tomada de decisão (amostrada, com frequência  $t_2$ ) sobre como alocar os recursos aos pedidos, tal que o custo total envolvido seja mínimo.

Os recursos a serem alocados serão a matéria prima e mão-de-obra. Consideraremos o número de máquinas fixo, ou seja, a decisão de alocar novas máquinas é uma decisão de um nível mais alto na hierarquia.

As saídas, isto é, as decisões do nível 2, funcionarão como uma constante (durante um período de tempo  $t_2$ , igual ao da tomada dessa decisão) para o nível de decisão imediatamente abaixo na hierarquia (nível 1) e para o

processo de produção. Logo, o nosso objetivo é obtermos a quantidade de matéria prima e mão-de-obra alocadas à demanda, tal que possamos fazer a descrição do processo contínuo de produção.

O problema que nos ocorre é que nas tomadas de decisões dos níveis, as ordens são diferenciadas entre si. Ao chegar ao processo contínuo, faz-se uma síntese dessa ordens e, pela própria descrição de Dinâmica Industrial, as ordens passam a ser totais. Para que possamos agir com os "feedback" de informação, necessitamos decompor as ordens. Na simulação, a decomposição será feita através de uma geração aleatória.

## 2.2. Formulação do Problema

Para o nosso caso específico, podemos formular o problema do seguinte modo: conhecida a demanda (o número de pedidos) para uma produção, qual deveria ser a quantidade de matéria prima e de mão-de-obra mensais, tal que minimizasse o custo total de pagamento, excesso de tempo no trabalho ("overtime") da mão-de-obra, estoque e falta de estoque (de matéria prima) em um dado período de planejamento de "n" meses?

O problema será formulado através de uma programação linear, isto é, a função custo (função objetivo) será uma função linear e poderemos, então, empregar as técnicas de P.L.

2.2.1. Funções Custo

Seja para o mês  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) :

- $M_i$  : matéria prima (em equivalente a horas de produção)  
 $D_i$  : demanda (em horas de produção), da matéria prima;  
 $I_i$  : estoque de matéria prima (em equivalente a horas de produção) no fim do mês " $i$ ";  
 $H_i$  : nível da mão-de-obra (homens-hora em tempo regular)

Supomos que a quantidade de homens-hora necessária à matéria prima  $M_i$  é  $Q_i = k M_i$ , onde " $k$ " é uma constante de proporcionabilidade. Para  $Q_i > H_i$ , necessitamos  $Q_i - H_i$  de homens-hora trabalhando em horas-extras.

Definindo, para todo número " $a$ " real:

$$a^+ = \begin{cases} |a| & , a \geq 0 \\ 0 & , a < 0 \end{cases} \quad (1a)$$

$$a^- = \begin{cases} 0 & , a \geq 0 \\ |a| & , a < 0 \end{cases} \quad (1b)$$

então, todo "a" real, pode ser escrito:

$$a = a^+ - a^- \quad (1c)$$

Podemos, então, escrever, para o mês "i",  
os elementos da nossa função custo:

$c_r H_i$  : pagamento da mão de obra

$c_o (kM_i - H_i)^+$ : excesso de tempo de mão-de-obra

$c_1 (I_i)^+$  : estoque de matéria prima

$c_2 (I_i)^-$  : falta de estoque de matéria prima

onde os "c" são os custos unitários, conhecidos.



### 2.2.2. Formulação por Programação Linear

Para um período de planejamento de "n" meses, teremos que a função objetivo a ser minimizada é:

$$\min C (M_1, \dots, M_n; H_1, \dots, H_n) = \sum_{i=1}^n \left\{ c_r H_i + c_o (kM_i - H_i)^+ + c_1 I_i^+ + c_2 I_i^- \right\} \quad (2)$$

sujeita a:

$$M_i \geq 0 \quad (3)$$

$$H_i \geq 0 \quad (4)$$

$$I_i = I_{i-1} + M_i - D_i \quad (5)$$

para  $i = 1, 2, \dots, n$  e com os " $D_i$ " e a condição inicial  $I_0$  conhecidas.

Ora, essa função objetivo é linear em partes, em relação às variáveis de decisão  $M_i$  e  $H_i$ . Para que consigamos uma função objetivo linear, vamos introduzir as variáveis:

$$\begin{aligned}
 z_i &= (kM_i - H_i)^+ \\
 w_i &= (kM_i - H_i)^- \\
 u_i &= I_i^+ \\
 v_i &= I_i^-
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Da restrição (5) e da definição (1c) tiramos:

$$\begin{aligned}
 M_i &= I_i - I_{i-1} + D_i \\
 &= (u_i - v_i) - (u_{i-1} - v_{i-1}) + D_i
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

De (6), temos:

$$kM_i - H_i = z_i - w_i$$

$$H_i = kM_i - (z_i - w_i) \quad (8)$$

$$H_i = k \left\{ (u_i - v_i) - (u_{i-1} - v_{i-1}) + D_i \right\} - (z_i - w_i)$$

Logo, as restrições (3) e (5), tomam a forma:

$$(u_i - v_i) - (u_{i-1} - v_{i-1}) + D_i \geq 0 \quad (9)$$

$$(u_i - v_i) - (u_{i-1} - v_{i-1}) + D_i - \frac{1}{k} (z_i - w_i) \geq 0 \quad (10)$$

para  $i = 1, 2, \dots, n$

Como uma solução ótima de Programação Linear leva, automaticamente, a um par de números  $(x_i, y_i)$ , etc., com a propriedade que ou  $x_i=0$  ou  $y_i=0$ , etc., temos então a não-negatividade das variáveis:

$$z_i, w_i \geq 0 \quad \text{e} \quad u_i, v_i \geq 0 \quad (11)$$

Utilizando (6) e (8), podemos re-escrever a nossa função objetivo:

$$C = \sum_{i=1}^n \left\{ c_0 z_i + c_1 u_i + c_2 v_i + c_r k \left( (u_i - v_i) - (u_{i-1} - v_{i-1}) + D_i \right) - c_r (z_i - w_i) \right\} \quad (12)$$

onde:

- $c_0$  : custo unitário de mão-de-obra em trabalho extra;
- $c_1$  : custo unitário de excesso de estoque de matéria prima;
- $c_2$  : custo unitário de falta de estoque de matéria prima;
- $c_r$  : custo unitário de mão-de-obra normal;
- $z_i$  :  $(kM_i - H_i)^+$
- $w_i$  :  $(kM_i - H_i)^-$
- $u_i$  :  $I_i^+$
- $v_i$  :  $I_i^-$
- $M_i$  : quantidade de matéria prima;
- $H_i$  : número de homens; no mês "i"
- $I_i$  : estoque de matéria prima no mês "i".

Nosso problema é, então, de Programação Linear: minimize (12) sujeito a (9), (10) e (11) para  $i = 1, 2, \dots, n$ ; e, onde cada mês do intervalo de planejamento contribui com 3 variáveis e 2 restrições.

### 2.2.3. - Resumo: formulação do problema

O nosso problema de alocação de recursos (nível 2) é então formulado:

$$\min C = \left\{ \sum_{i=1}^n (c_o - c_r)z_i + c_r w_i + c_1 u_i + c_2 v_i \right\} \quad (13)$$

$$+ c_r k \left\{ (u_n - v_n) - I_o + \sum_{i=1}^n D_i \right\}$$

$$\text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} (u_i - v_i) - (u_{i-1} - v_{i-1}) + D_i \geq 0 \quad , i=1, 2, \dots, n \quad (14) \\ (u_i - v_i) - (u_{i-1} - v_{i-1}) + D_i - \frac{1}{k}(z_i - w_i) \geq 0 \quad , i=1, \dots, n \quad (15) \\ z_i, w_i \geq 0 \quad (16) \\ u_i, v_i \geq 0 \end{array} \right.$$

De acôrdo com (14) e (15) as variáveis de decisão originais são  $M_i$  e  $H_i$ , que são variáveis de folga do problema de Programação Linear e podem ser obtidas diretamente da tabela Simplex obtida.

## CAPÍTULO III

### SEQUENCIACÃO DAS ORDENS: NÍVEL 1 DE DECISÃO

#### 3.1. Introdução

O objetivo, a curto prazo, na nossa gestão da produção, é obtermos, diariamente, uma sequência ótima(ou "quase ótima"), cujos elementos definam a ordem de processamento de "n" tarefas que chegam à fábrica, tal que se minimize o tempo total gasto para completar a operação de todas as tarefas.

Os tempos de operação serão gerados de modo aleatório na simulação do sistema, pois a nossa preocupação é de estudar a organização do algoritmo escolhido, de modo a ajudar numa tomada de decisão.

É evidente que a sequência obtida modifica vários elementos, tais como nível de estoque, datas de entrega, etc., que, por sua vez, vão influenciar nos custos. O que nos parece interessante, e que nos propomos a fazer, é

Obter a primeira sequência, aplicando o algoritmo escolhido aos dados originais; a seguir, ir modificando tais dados e estudarmos os efeitos nas sequências obtidas e sua ligação com o processo de produção que estamos controlando. Isto é, queremos utilizar a realimentação da informação, e estudarmos seus efeitos. Esquemáticamente, o que queremos fazer é:

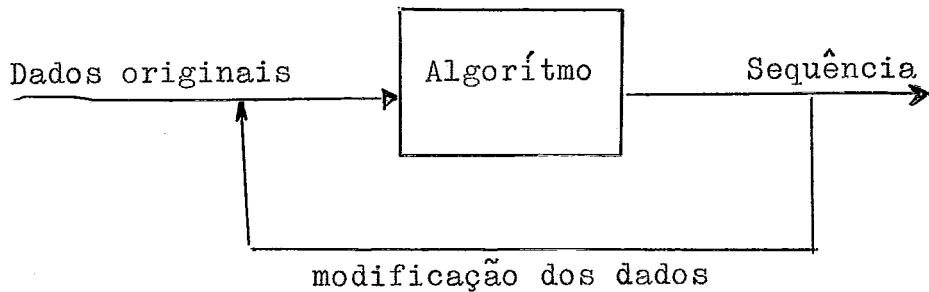


Figura 3.1 - "Feedback" de informação na sequenciação

### 3.2. Ordenação de tarefas: algumas definições

Consideremos o caso particular em que cada tarefa pode ser considerada como uma única operação. Isto é, suporemos que, num conjunto de máquinas, cada máquina é independente da outra e pode ser programada separadamente. Isso implica em que só seja necessário dar atenção a uma máquina por vez e ao conjunto de tarefas a serem processadas / nesta máquina. Nesse contexto, podemos considerar uma fábrica como sendo uma única máquina e, então, o nosso problema consiste em sequenciar as ordens que vão para a fábrica, isto é, para o processo de produção.

Se temos "n" tarefas, "a priori" são possíveis  $n!$  diferentes ordenações.

Seja  $d_i$  o tempo total de processamento (tempo de realização mais tempo de "setup") da tarefa "i" na fábrica, o intervalo de trabalho na fábrica será igual à soma das durações dos processamentos das "n" tarefas, isto é,  $\sum_{i=1}^n d_i$ .

Cada tarefa requer um tempo  $L_i$  para ser acabada,



e temos:

$$L_i = d_i + r_i \quad (1)$$

onde  $r_i$  é o tempo de espera.

Definindo como tempo médio de permanência a relação:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} \quad (2)$$

No nosso caso, o tempo de espera de cada atividade é igual à soma dos tempos de processamento de todas as atividades anteriormente processadas, isto é:

$$r_i = \sum_{j=1}^{i-1} d_j \quad (3)$$

Vamos chamar tempo de entrega da tarefa "i" de  $e_i$ ; e vamos definir demora da tarefa "i" à variável  $\delta_i$  :

$$\delta_i = \begin{cases} L_i - e_i & , \quad L_i \geq e_i \\ 0 & , \quad L_i < e_i \end{cases} \quad (4)$$

Isto é, a demora de cada tarefa é, exatamente o tempo de permanência menos o tempo de entrega, e o que queremos é que esta demora seja nula.

Chamando de antecipação da tarefa "i" à variável:

$$\alpha_i = \begin{cases} e_i - L_i & , e_i \geq L_i \\ 0 & , e_i < L_i \end{cases} \quad (5)$$

É evidente que cada sequência de tarefas terá diferentes valores de  $\delta_i$  e  $\alpha_i$ ; o que nos interessa é fazer a ordenação de modo que se encontre um ótimo, isto é, de maneira que se minimize o tempo de permanência.

### 3.3. Algoritmo para a ordenação das tarefas

Existem vários algoritmos com tal fim. O algoritmo escolhido baseia-se em 2 teoremas. O primeiro, de J.R. Jackson ( ver referência 6) demonstra o seguinte:

Teorema de Jackson : "A máxima demora de um conjunto de tarefas é minimizada quando estas são ordenadas de acordo com datas de entregas não decrescentes."

Chamaremos este tipo de ordenação de MDE e não demonstraremos o teorema, que pode ser visto na referência acima citada.

No entanto, pode ocorrer que existam outras ordenações também com a máxima demora igual a zero. Então , podemos criar uma nova sequência utilizando o menor tempo de permanência. O outro teorema, demonstrado na mesma referência (pag.33 de referência 6), nos dá a base para organizar o nosso algoritmo.

Teorema de Smith: "Se, num problema de ordenação, existe uma sequência de tarefas com máxima demora nula, então há uma ordenação das tarefas, com a tarefa "k" na última posição,

a qual minimiza o tempo médio de permanência, além de manter a condição de máxima demora nula, se e somente se:

$$(i) \quad e_k \geq \sum_{i=1}^n d_i \quad (6)$$

$$(ii) \quad d_k \geq d_i \quad , \text{ para "i" tal que:}$$

$$e_i \geq \sum_{j=1}^n d_j$$

onde:

$e_k$  : tempo de entrega da tarefa "k"

$d_k$  : tempo de processamento da tarefa "k".

## 3.4. "Flow-chart" do algoritmo para a sequenciação

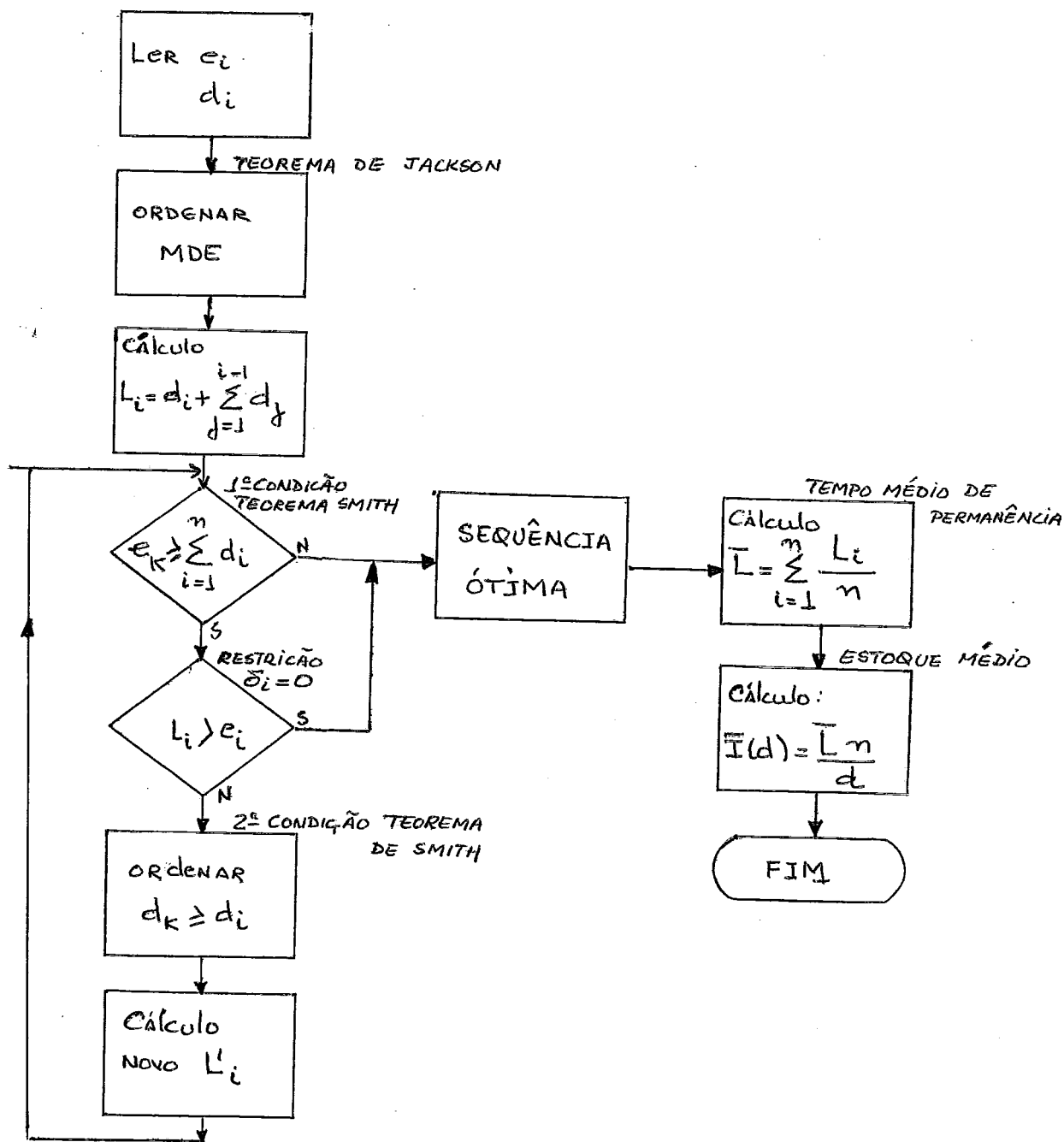


Figura 3.2 - "Flow-chart" do algoritmo para a ordenação de "n" tarefas.

### 3.5. Um exemplo numérico

Como exemplo da aplicação do algoritmo escolhido, seja o seguinte problema (tirado da referência 6) com seis tarefas:

T A R E F A						
	1	2	3	4	5	6
$e_i$	24	21	8	5	10	23
$d_i$	4	7	1	3	2	5

Ordenando segundo as datas de entrega não decrescentes (MDE), temos:

T A R E F A						
	4	3	5	2	6	1
$L_i$	3	4	6	13	18	22
$e_i$	5	8	10	21	23	24

Verificamos que, para todas as tarefas, temos  $\delta_i = 0$ .

Isto é, temos as demoras nulas.

A primeira condição do Teorema de Smith é satisfeita pelas

tarefas 6 e 1, isto é,  $e_6 \geq \sum_{i=1}^6 d_i = 22$   
 $e_1 > 22$

e, além disso, como  $d_6 > d_1$ , escolhemos a nova sequência:

		T A R E F A					
	4	3	5	2	1	6	
$L_i$	3	4	6	13	17	22	
$e_i$	5	8	10	21	24	23	

que continua com  $\mathcal{D}_i = 0$ .

Como a última tarefa já foi assim definida, temos então a sequência das cinco primeiras tarefas com tempo total de processamento de 17; temos então que as tarefas 2 e 1 são maiores que 17 e, como  $d_2 > d_1$ , fica a tarefa 2 para o quinto lugar.

Repetimos o processo tantas vezes que fôr necessário e chegamos à sequência : 3 - 4 - 5 - 1 - 2 - 6 que é ótima, isto é, nos dá o mínimo valor para o tempo médio de permanência sem violarmos as datas de entrega.

## CAPÍTULO IV

### DESCRIÇÃO POR DINÂMICA INDUSTRIAL DA GESTÃO DA PRODUÇÃO

#### 4.1. Introdução

O nosso problema básico é exatamente introduzir o conceito de decisões amostradas dentro da nossa descrição da Gestão da Produção e, através da simulação do sistema, estudar o comportamento dinâmico do mesmo. Isso entra um pouco em conflito com a atual representação de Dinâmica Industrial, que descreve decisões tomadas continuamente e fluxos contínuos.

Forrester (referência 8), ao justificar suas decisões sempre contínuas, diz que considerar uma decisão amostrada é "olhar muito de perto" um sistema. É do nosso parecer que, no caso real de um sistema industrial, o que realmente é contínuo é o fluxo de informação e que as decisões são tomadas com uma certa frequência amostrada, (sejam a curto, médio ou longo prazo) e, conseqüentemente,



agem como uma constante durante esse período de tempo.

Tendo como idéia original para o nosso problema, o sistema de El Segundo ( ver apêndice I), junto com a nossa estrutura hierarquizada para a Gestão da Produção, o diagrama para a formulação do nosso problema está na figura IV.1.

Vamos necessitar também, do desenvolvimento de uma sistemática própria para a descrição e modificação de arquivos necessários à manutenção do sistema.

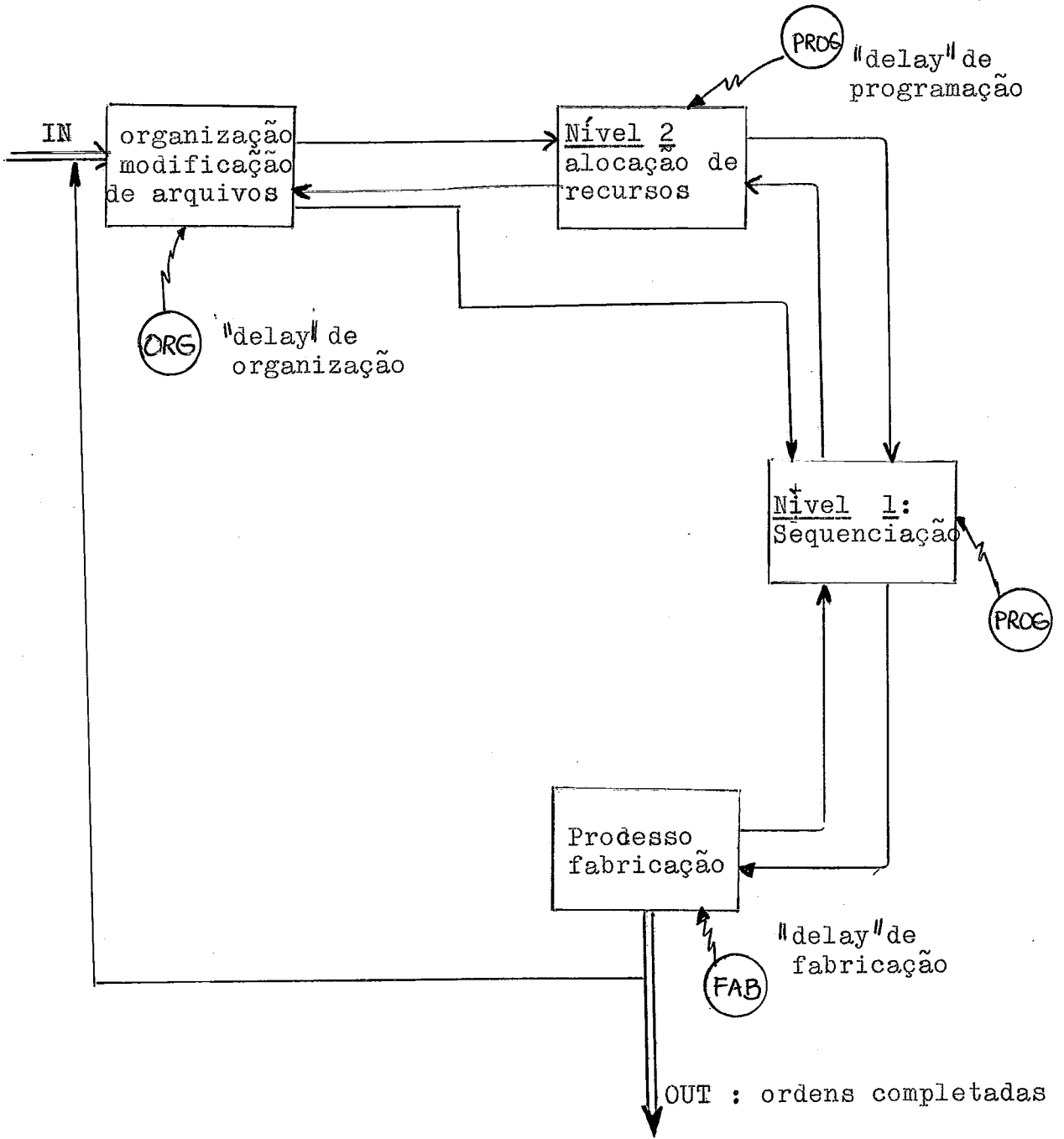


Figura IV.1 - Gestão da produção: níveis, "delays" e "feedback" de informação.

#### 4.2. Organização e modificação de arquivos

Utilizando a idéia do simulador de El Segundo (ver apêndice I), cujo diagrama está na figura IV.2, vamos primeiro descrever "qualitativamente" a formação dos arquivos e suas modificações, para depois passarmos à sua representação.

É importante observar que os arquivos funcionarão simplesmente como níveis acumulados (isto é, como pilhas de ordens), para cada nível da hierarquia, com a mesma frequência da tomada de decisão do nível considerado.

A medida que as ordens vão chegando, / elas vão sendo tabeladas em um Departamento X, com um "delay" necessário. O arquivo inicial é, simplesmente, esta pilha de ordens. As ordens tabeladas serão modificadas até formarmos o arquivo "input" para função de decisão de cada nível da estrutura hierarquizada. Deve-se observar que as frequências de cada nível são diferentes. Para formarmos o arquivo "input" necessitamos de tabelas de decisão, a saber: tabelas de

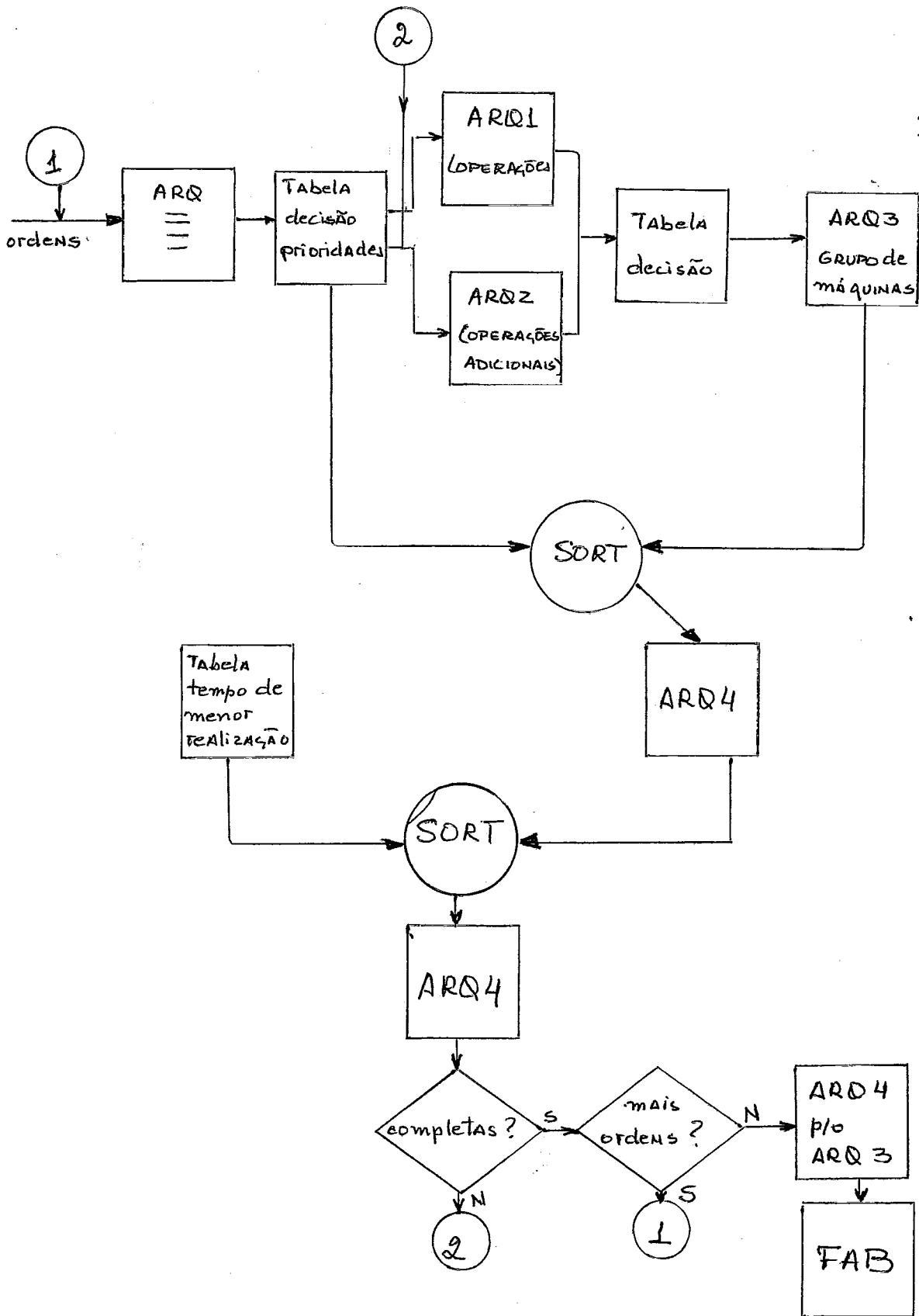


Figura IV.2 - Simulador de El Segundo

tempos de realização, tabelas com os códigos de operação e prioridades. Poderíamos, também, fazer uma correlação entre tempos e custos, para obtermos "custos padronizados", mas, para efeitos de nossa simulação, suporemos os custos conhecidos.

Após fazermos um "Sort" das ordens tabeladas com as tabelas necessárias, teremos os arquivos "input" preparados.

#### 4.2.1. Descrição detalhada

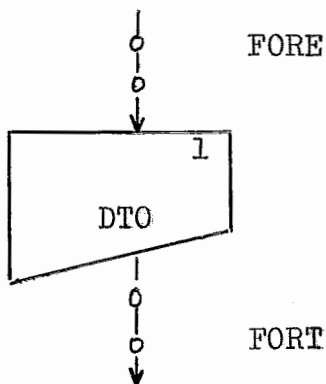
À medida que as ordens vão chegando, elas vão sendo tabeladas com um certo "delay" necessário ao seu processamento. O "delay" para tabelar as ordens é um "delay pipe line", isto é, um simples atraso.

Sejam:

DTO : "delay pipe-line" para tabelar as ordens (tempo)  
 FORT: fluxo de ordens tabeladas (equivalente de horas de trabalho / unidade de tempo)

FORE : fluxo de ordens de entrada (equivalente de horas de trabalho/ unidade de tempo)

A representação será:



com a equação:

$$1) \text{ FORT}(K) = \text{FORE}(K - \text{DIO})$$

Isto é, o fluxo de ordens tabeladas é igual, com um atraso DIO, ao fluxo de ordens de entrada.

Para formarmos o arquivo inicial, o que nos interessa são as ordens não satisfeitas tabeladas, FORT. Devido às decisões amostradas dos níveis 1 e 2, faz-se necessário modificar os arquivos através de tabelas de decisão.

#### 4.2.2. Levantamento das tabelas necessárias.

(i) tabelas de tempos - onde cada operação necessária à realização de uma ordem tem um tempo de realização e de "setup" padrões. A tabela de tempos será simplesmente uma sequência (elaborada por um Departamento de Planejamento) de operações e tempos:

Ordem	Operação	Tempo de realização	tempo de "setup"	tempo global
-------	----------	---------------------	------------------	--------------

(ii) tabela de códigos: as ordens que chegam necessitam serem codificadas em operações; na realidade, a transformação das ordens em suas operações com os respectivos códigos é realizada na primeira fase do registro de ordens. Para isso, é necessário uma tabela que nos dê as operações com os respectivos códigos:

Ordem	Operações	código da ordem	códigos das operações
-------	-----------	-----------------	-----------------------

(iii) tabelas para as decisões dos níveis

(a) TABELA 1 - para a tomada de decisão do nível 1, sequenciação das ordens, precisaremos de uma tabela TAB1, com as seguintes informações:

- código da ordem;
- códigos das operações necessárias;
- tempos totais;
- tempos de entrega.

(b) TABELA 2 - para a tomada de decisão do nível 2, alocação de recursos, temos de ter uma tabela, TAB2, com as seguintes informações:

- código da ordem;
- código das operações;
- mão-de-obra;
- matéria prima.

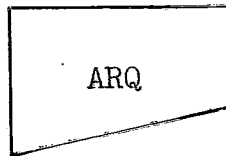
Na realidade, utilizando-se as tabelas de tempos e de códigos, a formação de arquivos necessários tanto para a alocação de recursos quanto para a sequenciação, nada



mais é que um(s) SORT feito(s) a intervalos de tempos diferentes (igual ao da tomada de decisão amostrada) das ordens não satisfeitas tabeladas no Departamento X. Isto é, teremos, com frequências diferentes, "pilhas" de ordens que serão modificadas para formarmos os arquivos iniciais.

#### 4.2.3. Símbolos novos utilizados

(i) Um arquivo (nível acumulado) será representado por:



(ii) a modificação de um arquivo(fluxo) será representada por:



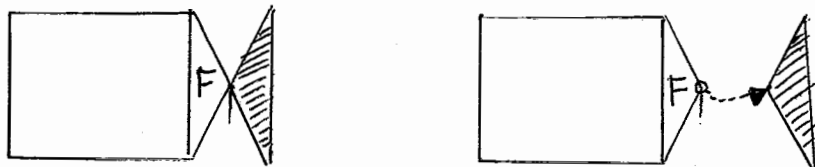
(iii) tabelas (variáveis e/ou parâmetros) serão representadas por:



(iv) a constituição de um arquivo em função de um parâmetro exterior, será representada por um SORT, cujo argumento é o(s) parâmetro(s) exterior:



(v) decisões amostradas serão representadas por-



onde F é a frequência da tomada de decisão.

#### 4.2.4. Arquivos iniciais.

Os arquivos iniciais para as decisões amostradas dos níveis 1 e 2, respectivamente, são, na realidade, o / mesmo arquivo, modificado através das tabelas de decisão.

Chamando de DT01 e DT02 os "delay pipe-line", necessários para os SORT(s) com as tabelas, temos que ir fazendo sucessivamente o SORT das ordens com a tabela TAB2 e com a tabela TAB1, já definidas; modificando, assim, o arquivo das ordens para o arquivo ARQ2, que será o arquivo "input" para a alocação de recursos. Esse arquivo será modificado ( com uma frequência  $F_2$  , igual à tomada de decisão de alocar recursos) , para o arquivo ARQ1, arquivo "input" para a sequenciação de ordens.

O arquivo ARQ1 é, então, modificado ( com uma frequência  $F_1$  , igual à tomada de decisão de sequenciar ordens) no arquivo NOP, que é o arquivo "input" completo de ordens sequenciadas, com os recursos já alocados, que vão para a fabricação, ou seja, para o processo contínuo da produção.

Conforme seja o fluxo de ordens terminadas, dentro (ou fora) da seqüência prescrita, e o comportamento dos recursos considerados, matéria prima e mão-de-obra, teremos, então, fluxos de informação ("feedback" de informação), que poderão modificar, ou não, as decisões dos níveis considerados.

Evidentemente, as frequências com que as decisões são tomadas, nos darão uma medida da performance do sistema. Assim, por exemplo, num sistema muito sensível quanto aos níveis de estoque de matéria prima e de mão de obra, a frequência de tomar a decisão de alocar recursos deveria ser mais frequente que num sistema mais estável.

Na simulação do nosso sistema, suporemos, de início, a frequência da tomada de decisão de sequenciar as ordens como sendo diária, e a de alocar recursos mensal.

Temos na figura Iv.3, o diagrama de fluxos (parcial) para a formação e modificação de arquivos.

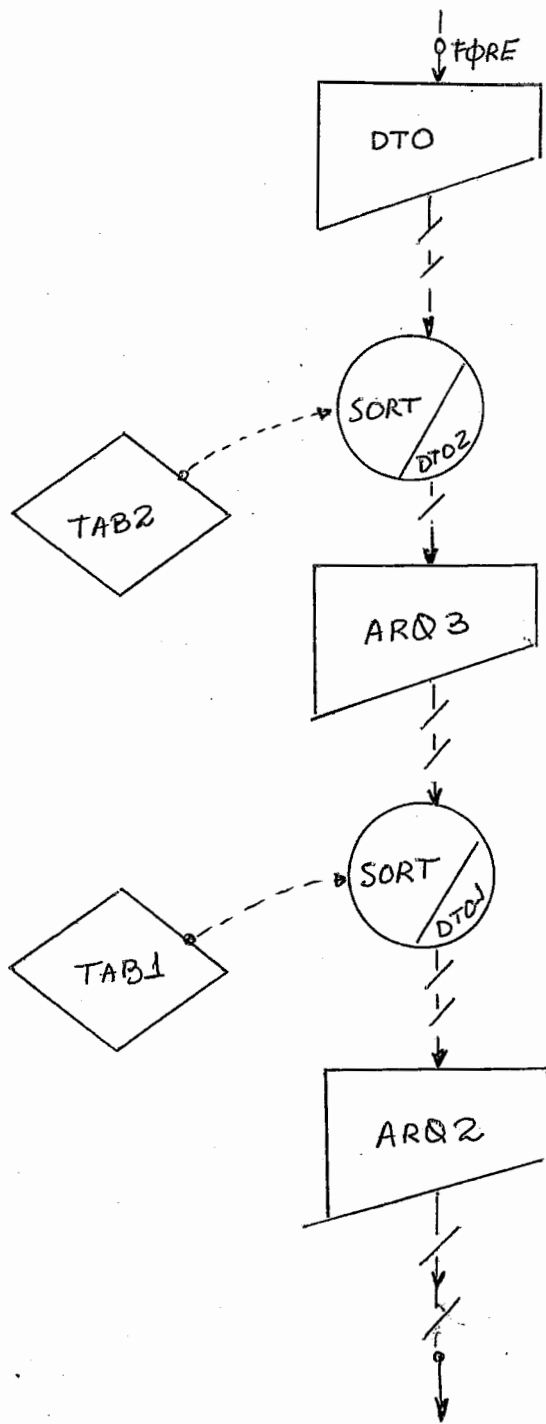


Figura IV.3 - diagrama de fluxos da organização e modificação de arquivos.

As equações , por Dinâmica Industrial, seguindo o fluxo do sistema serão:

$$ARQ3 ( K+ DT02 ) = SORT(TAB2, FORT(K))$$

$$ARQ2 ( K+ DT01 ) = SORT(TAB1, ARQ3)$$

#### 4.3. Ligação dos arquivos com o sistema.

A "pilha de ordens" é atualizada diariamente, através do número de ordens satisfeitas, que, como veremos mais adiante, depende da sequenciação, estoque, etc..

Para simplificação do modelo, vamos considerar que as ordens são produzidas a partir de uma ordem de um cliente, isto é, não existe estoque permanente.

Após formado o arquivo "input" para a sequenciação, e considerando um "delay pipe-line", DPS, necessário para a sequenciação, teremos: no instante  $K$ , chamamos a subrotina de sequenciação e a saída dela, no instante  $K+DPS$ , será o arquivo  $NOP(K+DPS)$ , o nível de ordens não completadas e já sequenciadas.

Isto é,  $NOP(K+DPS)$  é a saída de:

CALL SUBROUTINE SEQ(ARQ1(K)) , onde:

$\text{NOP}(K+\text{DPS})$  : nível de ordens sequenciadas recebidas na fábrica;

$\text{SUBROUTINE SEQ}(\text{ARQ1}(K))$  - subrotina do algoritmo para a sequenciação, chamada com uma frequência  $F_1$ ; frequência da tomada de decisão.

Do mesmo modo, para a decisão de alocar recursos, chamando de  $\text{DPA}$  o delay pipe-line necessário para a programação, teremos:

$\text{CALL SUBROUTINE ALOC}(\text{ARQ2}(J))$

cujas saídas serão:

$\text{NHP}(J+\text{DPA})$  - número de homens alocados ;

$\text{MATP}(J+\text{DPA})$  - quantidade de matéria prima alocada.

e onde:  $\text{SUBROUTINE ALOC}(\text{ARQ2}(J))$  - é a subrotina de programação linear que resolve o problema considerado de recursos, e é chamada com uma frequência  $F_2$ , que é a frequência para a tomada de decisão desse nível da estrutura hierarquizada. (nível 2)



#### 4.4. Diagrama de fluxo das decisões amostradas

Hierárquicamente, a alocação de recursos é feita em primeiro lugar e, como resultado desta decisão, / teremos a quantidade de matéria prima, MATP, alocada às tarefas e a mão-de-obra, NHP, que funcionam como constante durante o período da tomada de decisão do nível 2 .(decisão de alocar recursos)

Da saída de decisão de alocar recursos saí um fluxo de informação para a decisão de sequenciar, SEQ, e daí saí outro "feedback" de informação para o nível de alocação de recursos.

O diagrama de fluxos (parcial) das duas decisões amostradas consideradas (alocação de recursos e sequenciação) , está na figura IV.4.

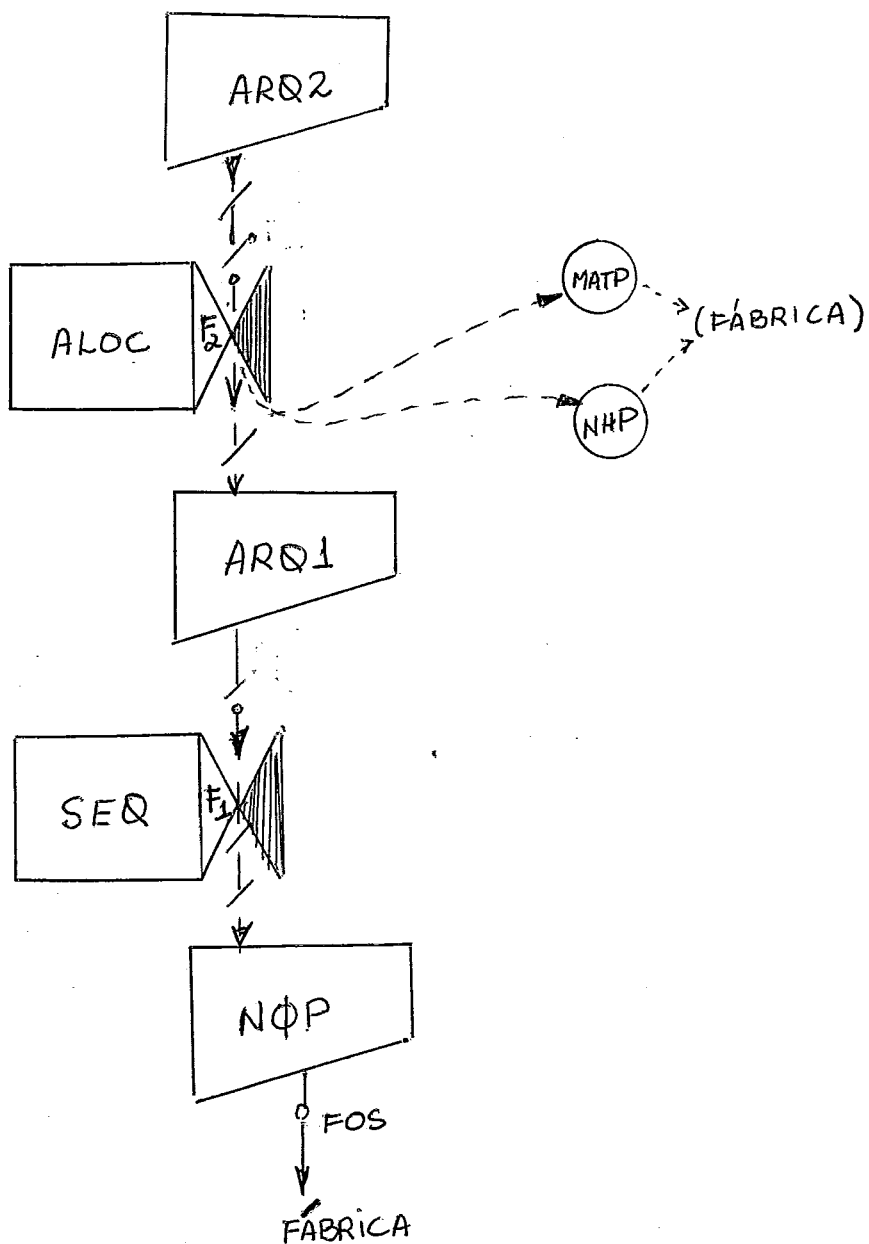


Figura IV.4 - Diagrama de fluxos das decisões amostradas.

#### 4.5. Diagrama de fluxo dos níveis e arquivos

Ligando as duas figuras, IV.3 e IV.4, temos:

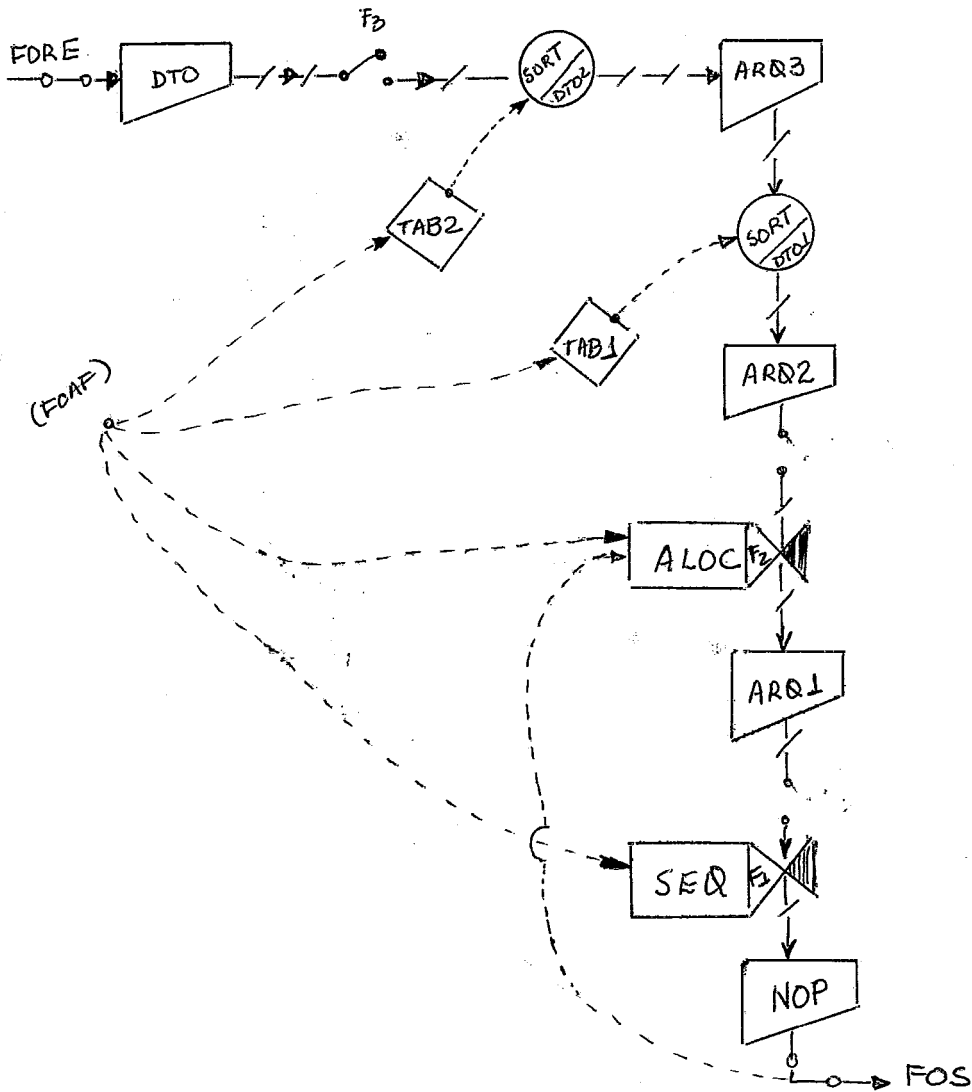


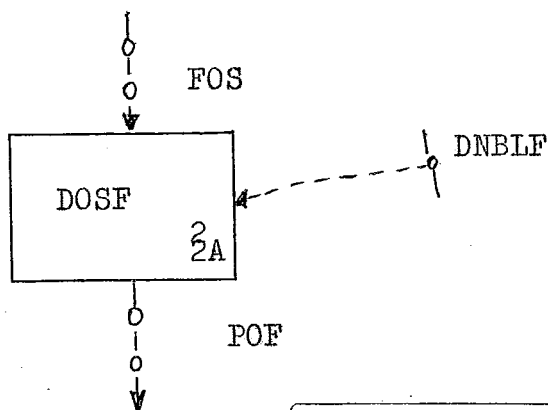
Figura IV.5 - Diagrama de fluxos dos arquivos, modificações e decisões amostradas (níveis da estrutura).

#### 4.6. O processo contínuo de fabricação.

Suporemos o fluxo de ordens sequenciadas (que saem do arquivo NOP), indo diretamente para um nível de atraso ("backlog") de produção. À medida que as ordens vão sendo produzidas, elas vão sendo removidas deste "backlog".

As ordens já sequenciadas vão, então, chegando à fábrica e fazem parte do nível de atraso no trabalho para ordens que estão sendo fabricadas.

Teremos:



com as equações:

$$2) \text{ DOSF}(K) = \text{DOSF}(J) + DT(\text{FOS}(JK) - \text{POF}(JK))$$

$$2A) \text{ DOSF}(1) = \text{FOS}(1) \times \text{DNBLF}$$

onde: DOSF : nível de atraso no trabalho, de ordens sendo fabricadas (horas de trabalho);

FOS : taxa de ordens sequenciadas (horas de trabalho por hora);

POF : capacidade de produção (horas de trabalho por hora);

DNBLF : "delay" normal para o atraso (horas).

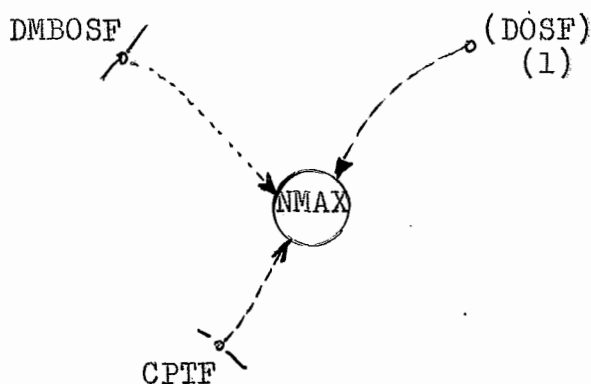
Estamos usando a unidade "horas de trabalho", a qual é equivalente, através um fator de conversão, CHT (horas de trabalho por unidade de pedido), ao número de unidades. Utilizamos esta unidade para sermos coerentes com a nossa hipótese inicial de uma "produção sob pedido". Assim, cada pedido que chega equivale a um determinado número de horas de trabalho.

A equação (2) nos dá o nível de atraso no trabalho de ordens a serem produzidas.

A equação (2A) nos dá o valor inicial para o nível de atraso, através do fluxo (no estado de equilíbrio) de ordens a serem produzidas multiplicadas pelo valor normal

do atraso, DNBLF.

Evidentemente, este atraso não deve cair abaixo de um valor equivalente a um tempo mínimo de produção (dentro da programação). Logo, existe um "delay" mínimo de produção que, de certo modo, define o valor máximo da mão-de-obra que é designada para este atraso. Chamando de DMBOSF o "delay" mínimo para o atraso na fábrica, e introduzindo um parâmetro / novo, CPTF, constante de produtividade do trabalho na fábrica (horas de trabalho/homens-hora), teremos:



com a equação:

$$3) \quad NMAX = \frac{DOSF(K)}{DMBOSF \times CPTF}$$

onde:

- NMAX : número máximo de homens trabalhando para o atraso (homens)
- DOSF : nível de atraso no trabalho para ordens sendo fabricadas (horas de trabalho)
- DMBOSF : "delay mínimo" para o atraso (horas)
- CPTF : constante de produtividade do trabalho (horas de trabalho/homens-hora)

Uma restrição lógica é que os homens realmente produzindo para o atraso, devem ser menos que o número de homens disponíveis. Logo:

$$4) \quad NHB(K) = \begin{cases} NHP(K) & ; \text{ se } NMAX \geq NHP \\ NMAX(K) & , \text{ se } NMAX < NHP \end{cases}$$

onde:

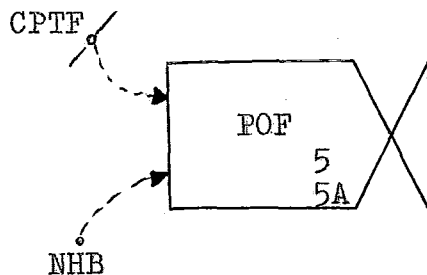
NHB : número real de homens trabalhando em ordens

em atraso na fábrica (homens)

NHP : número total de homens alocados na fábrica( saída da alocação de recursos)

NMAX : número máximo de homens permitido para trabalho em atraso(homens).

A capacidade de produção depende do número de homens alocados para o trabalho em atraso e de uma constante de produtividade , que mede a quantidade de trabalho realizado por homem-hora. Temos então:



com as equações:

$$5) \text{ POF}(KL) = \text{CPTF} \times \text{NHB}(K)$$

$$5A) \text{ POF}(1) = \text{FOS}(1)$$

onde:

POF : capacidade de produção (horas de trabalho)

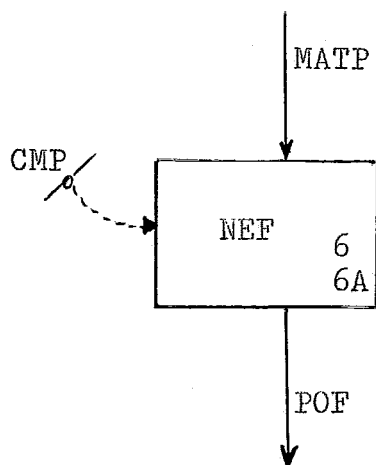


CPTF : constante de produtividade (horas de trabalho por homens-hora)

NHB : número real de homens em atraso.

FOS : fluxo de ordens que chegam à fábrica( em horas de trabalho)

Como estamos considerando uma indústria "sob pedido", isto é, sem estoque permanente, o nível de estoque será simplesmente tirado da quantidade de matéria prima, de acordo com a taxa de produção.



com as equações:

$$6) \text{ NEF}(K) = \text{NEF}(J) + \text{DT}(\text{MATP}(JK) - \text{POF}(JK))$$

$$6A) \text{ NEF}(1) = \text{FOS}(1) \times \text{CMP}$$

onde:

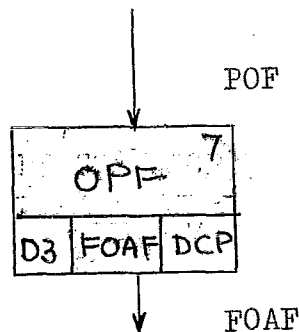
MATP : quantidade de matéria prima recebida na fábrica por unidade de tempo (equivalente em horas de trabalho/hora);

NEF : nível de estoque de matéria prima na fábrica (em horas de trabalho);

POF : capacidade de produção (horas de trabalho/hora);

CMP : coeficiente que mede o estoque de matéria prima a ser mantido na fábrica (horas).

Finalmente, temos o nível de ordens que estão em processamento, OPF, com um "delay" necessário para a produção, DCP, "delay" de 3º ordem, exponencial:



com as equações:

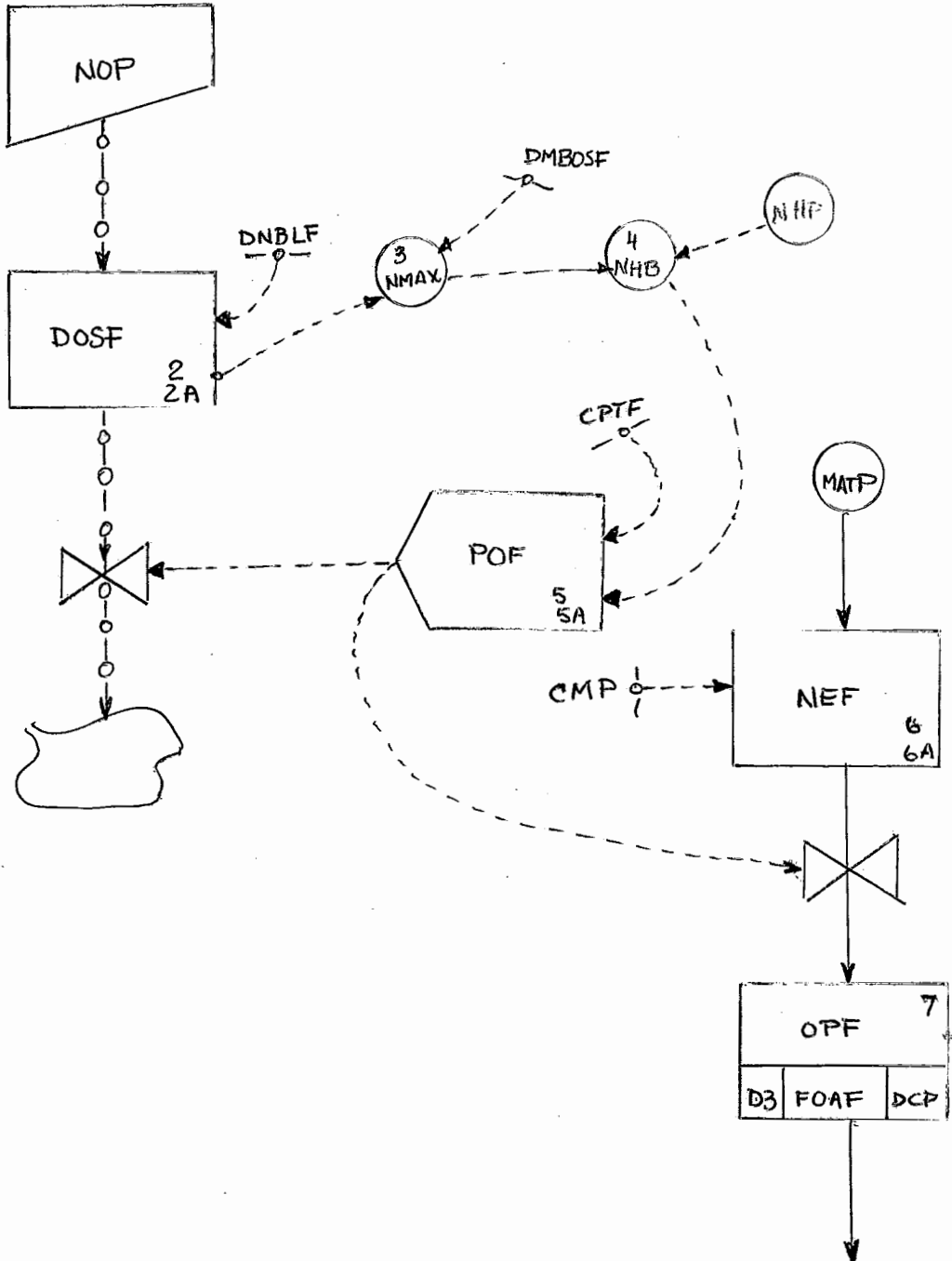
$7) \text{ OPF}(K) = \text{OPF}(J) + DT(\text{POF}(JK) - \text{FOAF}(JK))$ $\text{FOAF}(KL) = \text{delay } 3(\text{POF}(JK), \text{DCP})$
--

onde:

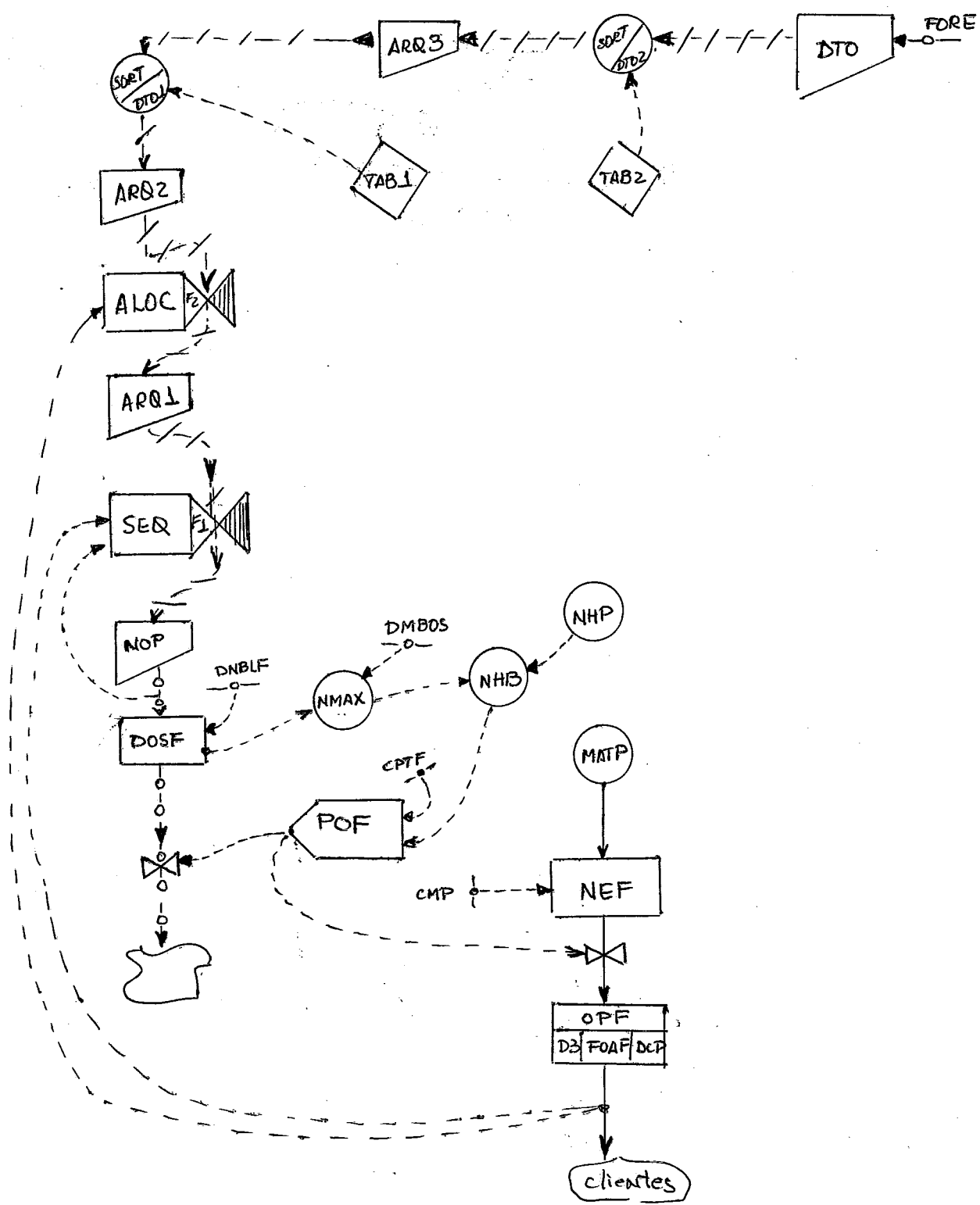
- OPF : nível de ordens em processamento(em horas de trabalho);
- FOAF : fluxo de ordens terminadas(horas de trabalho por hora);
- DCP : "delay" de produção(horas);
- POF : capacidade de produção(horas de trabalho por hora).

Reunindo as equações descritas, teremos a descrição , a partir do arquivo de ordens sequenciadas, NOP, do processo contínuo de produção

4.7. Diagrama de fluxos do processo contínuo de fabricação



4.8. Diagrama de fluxos da Gestão de produção



#### 4.9. Equações do processo contínuo de fabricação

As equações que regem o nosso modelo, por Dinâmica Industrial são:

$$\text{DOSF}(K) = \text{DOSF}(J) + \text{DT}(\text{FOS}(JK) - \text{POF}(JK))$$

$$\text{DOSF}(1) = \text{FOS}(1) \times \text{DNBLF}$$

$$\text{NMAX} = \text{DOSF}(K) / (\text{DMBOSF} \times \text{CPTF})$$

$$\text{NHB}(K) = \text{NHP}(K) \quad , \text{ se } \text{NMAX} > \text{NHP}$$

$$\text{NMAX}(K) \quad , \text{ se } \text{NMAX} > \text{NHP}$$

$$\text{POF}(KL) = \text{CPTF} \times \text{NHB}(K)$$

$$\text{POF}(1) = \text{FOS}(1)$$

$$\text{NEF}(K) = \text{NEF}(J) + \text{DT}(\text{MATP}(JK) + \text{POF}(JK))$$

$$\text{NEF}(1) = \text{FOS}(1) \times \text{CMP}$$

$$\text{OPF}(K) = \text{OPF}(J) + \text{DT}(\text{POF}(JK) - \text{FOAF}(JK))$$

$$\text{FOAF}(KL) = \text{delay } 3(\text{POF}(JK), \text{DCP})$$

#### 4.10. Parâmetros utilizados

(i) DNBLF - "delay" normal para o atraso : mede o tempo normal em que se deseja manter o nível de atraso; o valor escolhido foi de 24 horas, ou seja (considerando cada dia útil de 8 horas), de 3 dias;

(ii) DMBOF - "delay" mínimo para o atraso: mede o menor tempo para o nível de atraso na fábrica, tal que de / certo modo defina o valor máximo da mão de obra alocada para o trabalho em atraso ; escolhemos o valor de 8 horas, ou seja, de um dia útil de trabalho em atraso;

(iii) CPTF - é uma constante de produtividade que mede a produção de um homem, por unidade de tempo, em horas de trabalho; escolhemos como 0.8 o seu valor, isto é, cada hora cada homem produz 0.8 horas de trabalho;

(iv) CMP - coeficiente que mede, em horas, o estoque de matéria prima a ser mantido na fábrica; como a decisão de alocar recursos é mensal, esse coeficiente foi igualado a 160 horas, ou seja, de um mês útil (20 dias de 8 horas cada);

(v) DCP - "delay" constante de produção: mede

em horas, uma hora de trabalho (pedido); o valor desse "delay" é de 3 horas, ou seja, para uma hora de trabalho (equivalente unidades) ser realizada leva, em média, 3 horas.



## CAPÍTULO V

### SIMULAÇÃO DO SISTEMA E RESULTADOS

#### 5.1. Simulação do sistema global e "flow-chart"

A nossa simulação será estocástica, isto é, inicialmente, geraremos aleatoriamente as variáveis exógenas. O sistema global será simulado durante um ano e teremos, dentro desse ano, saídas da simulação mensal e diária.

A parte da simulação do processo contínuo de fabricação (descrito por Dinâmica Industrial) é simulada diariamente, junto com a decisão amostrada de sequenciar as ordens. A base de tempo utilizada para nossa simulação é de  $DT=0.5$  horas; logo, considerando o dia de 8 horas, teremos diariamente 16 pontos que nos darão o comportamento diário do sistema. Após 20 dias / (correspondentes a um mês útil de trabalho), selecionaremos um dia aleatoriamente para plotarmos o comportamento dinâmico do sistema.

Do mesmo modo, simulamos mensalmente a decisão de alocar os recursos e sua influência no processo contínuo.

O fluxograma geral da simulação do sistema global da gestão de produção a dois níveis hierarquizados está na figura anexa, figura V.1.

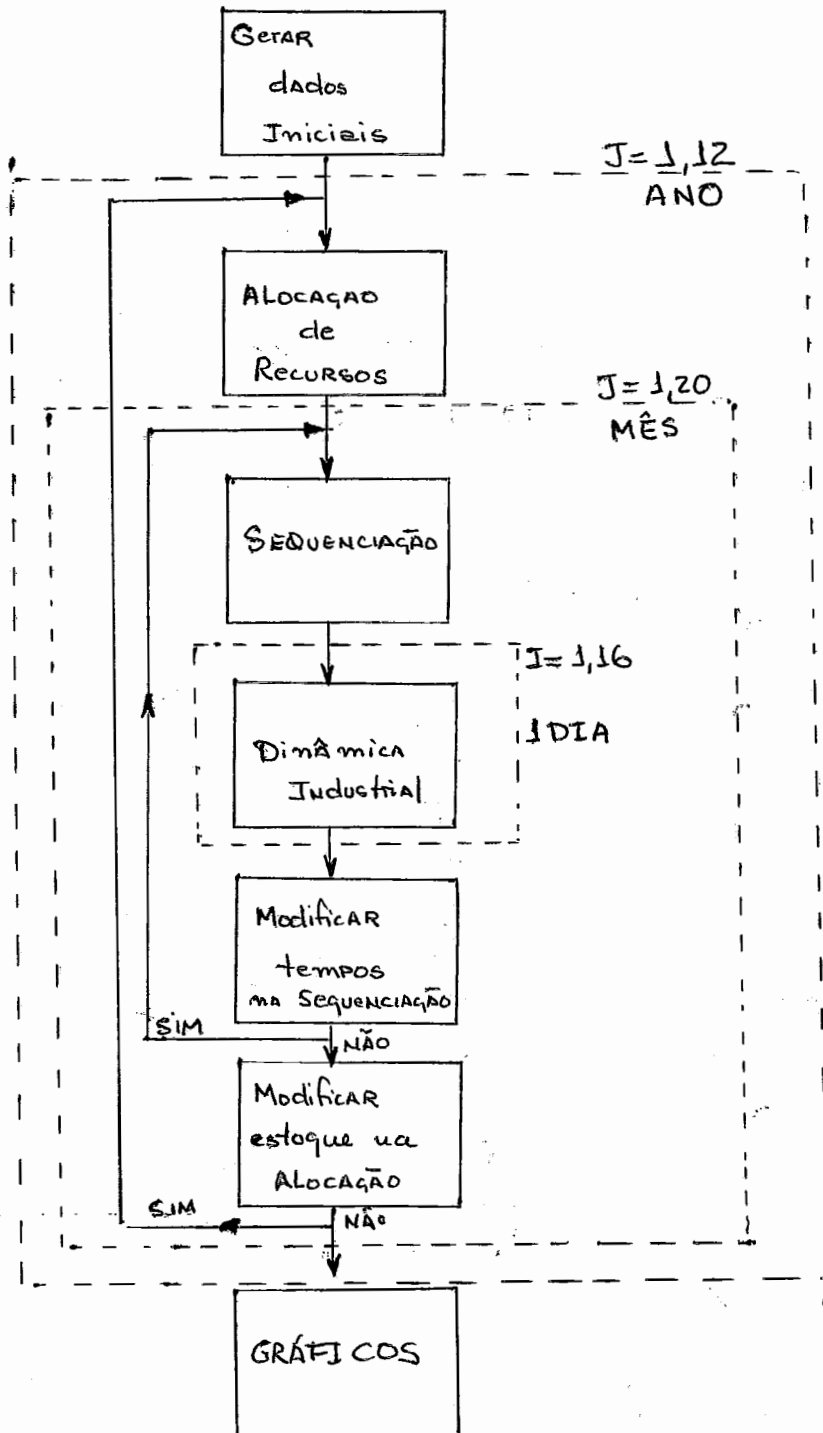


Figura V.1 - " Flow-chart " da simulação do Sistema de Gestão da Produção

## 5.2. "Feedback" de informação

Seguindo na linha de dar ênfase à realimentação de informação, o que nos parece importante é de estudar os efeitos das realimentações no comportamento do sistema.

As duas realimentações a serem observadas são as relativas aos dois níveis amostrados de decisão:

(i) Realimentação 1: da saída do processo contínuo de fabricação para a decisão de sequenciar as ordens: a rotina de sequenciação tem como entrada os tempos de processamento e datas de entrega das tarefas consideradas.

Inicialmente, os tempos serão gerados aleatoriamente, supondo-se uma função de distribuição normal. Ora, a saída do processo contínuo não diferencia as ordens entre si, isto é, teremos apenas totais; conseqüentemente, geraremos prioridades: prioridade 1 - pedido especial : a ordem não completada volta no dia seguinte com a data de entrega acrescida de um dia, para ser sequenciada novamente; prioridade 0: ordem normal: a ordem não completada volta no dia seguinte para ser

sequenciada novamente sem que se efetue qualquer mudança em suas datas de entrega.

(ii) Realimentação 2: é a representada pela saída do processo contínuo indo para a decisão de alocar recursos.

As entradas da nossa alocação de recursos são os custos unitários, estoque anterior de matéria prima e demanda anterior.

Consideraremos os custos unitários fixos.

O planejamento para uma política ótima de alocação de recursos (dependente dos parâmetros custos) é fixo durante o intervalo de tempo de nossa simulação (equivale a dizer que esse planejamento é feito num nível mais alto da estrutura hierarquizada).

### 5.3. Dados de entrada para a simulação

#### 5.3.1. Nível 2: alocação de recursos

As entradas para a sub-rotina de alocação de recursos são os custos unitários, estoque de matéria prima do mês anterior e demanda dos 3 meses anteriores.

No início, começaremos com um estoque de matéria prima e demanda, gerados aleatoriamente. À medida, que, com a simulação diária teremos níveis de estoque e fluxo de ordens completadas, estes dados funcionarão como "feedback" de informação (no fim de 20 dias, isto é, um mês útil) para o nível de decisão que estamos considerando.

Os parâmetros do modelo de alocação de recursos são os custos unitários, que consideramos fixos. Os custos que aparecem no nosso modelo são:

(i)  $c_r$  : custo unitário da mão-de-obra

Supondo um salário médio de "n" salários mínimos, e, com a mesma base de tempo, de meia-hora, o dia útil de 8 horas e o mês de 20 dias, temos:

$$c_r = \frac{\text{salário médio}}{\text{horas de trabalho}} = \frac{n \times 230}{20 \times 8 \times 0.5}$$

para n=3, temos:

$$c_r = 690/120 = 5.75 \text{ cr\$/meia-hora de trabalho}$$

(ii)  $c_o$  - custo de mão de obra em horas extras

Será, simplesmente, o custo normal da mão de obra mais um adicional. Supondo esse adicional de 20%, teremos:

$$c_o = c_r + 0.20c_r = 1.20 c_r$$

para 3 salários mínimos, temos:

$$c_o = 6,90 \text{ cr\$/meia-hora de trabalho extra}$$

(iii)  $c_1$  - custo de estoque de matéria prima

Será o preço unitário do produto multiplicado por uma taxa de lucros que seriam obtidos com a inversão do capital empatado em estoque de matéria prima, em outra atividade. Considerando de 3% ao mês, ou seja de 0.019%, a meia-hora e supondo o preço unitário da matéria prima de Cr\$500,00, temos:

$$c_1 = 500 \times 0.019 = 9,5 \text{ cruzeiros/unidade de matéria prima}$$

(iv)  $c_2$  - custo de falta de estoque

Será, simplesmente, uma penalidade (refletindo a perda de serviço) de tal forma que torne proibitivo a falta de estoque de matéria prima. Porém,  $c_2 = \infty$ , computacionalmente, será o maior número, que o computador usado aceita.

### 5.3.2. Nível 1 de decisão: sequenciação de ordens

As entradas para a decisão de sequenciar são: número das ordens, tempos de processamento e datas de entrega.

Os tempos de processamento e datas de entrega são geradas aleatoriamente, com funções de distribuição normal, variando o tempo de processamento até 6 horas e as datas de entrega até 24 horas(3 dias úteis).

O número das ordens com suas quantidades também são geradas de modo aleatório, sendo que podemos ter no máximo 100 ordens(de tipos diferentes) e a quantidade de cada uma vai até 100 horas de trabalho.

### 5.3.3. Processo contínuo de fabricação

A variável exógena é o número total de ordens, isto é, o somatório das ordens geradas aleatoriamente, dividido pelo "delay" mínimo de atraso, DMBOS ; desse modo, teremos o fluxo de ordens sequenciadas que chegam, por hora, em cada dia, à fábrica.



#### 5.4. Resultados obtidos

Estamos incluindo, em anexo, uma das saídas do programa simulador; mostra um arquivo de ordens com as respectivas quantidades de mão-de-obra e matéria prima e classificadas por tipo de ordem. O resultado do programa de sequenciamento será o mesmo arquivo com a ordem da melhor sequência, no exemplo anexo a melhor sequência é 6-1-5-4-2-7-3.

Apresentamos também uma listagem de saída diária das variáveis que estamos observando: nível do estoque de matéria prima, fluxo de ordens acabadas e de ordens em produção, taxa de produção e nível de atraso de ordens em trabalho.

No gráfico diário podemos observar que, sendo a capacidade de produção constante, o fluxo de ordens acabadas vai aumentando à medida que as ordens vão chegando e que um dos objetivos é atingido, isto é, o nível de atraso vai diminuindo. O que podemos também observar é que o fluxo de ordens em produção sobe muito rapidamente, provavelmente devido a taxa de produção ser um pouco alta.

O gráfico mensal apresenta as mesmas características, com a diferença de já ir havendo uma correção. A capacidade de produção vai diminuindo numa taxa muito lenta o que acarreta a diminuição de ordens em produção, continuando o decréscimo no nível de atraso. Já no gráfico anual, podemos observar que à medida que a decisão de alocar recursos é tomada (frequência mensal) com a realimentação de informação baseada no nível de estoque de matéria prima anterior, existe realmente uma correção mas que ela é muito lenta e defasada - a razão provável é termos considerado a alocação de recursos com custos fixos, logo a sensibilidade desta decisão à realimentação de informação é pequena.

(ii) Simplificações e extensões possíveis

Como tentamos enfatizar desde o início da tese, os objetivos da mesma foram:

utilização de: - conceitos de realimentação de informação;

- estrutura hierarquizadas de decisão;

- aplicação de algoritmos de Pesquisa Operacional

adicionar a Dinâmica Industrial: - a noção de decisões amostradas;

- a manutenção de um sistema,

através da organização e modificação de arquivos;

A conclusão maior que podemos tirar é que, num sistema industrial podemos utilizar a descrição por níveis hierarquizados com a finalidade de obtermos um simulador que:

- (i) seja operacional;
- (ii) seja um elemento de real ajuda ao processo de decisão.

No caso de querermos implantar um sistema - um simulador de tipo de El Segundo, teríamos que:

- (i) ter dados reais para a simulação;
- (ii) ter um modelo matemático para a descrição do processo físico.

As simplificações para estabelecermos a nossa descrição foram:

- (i) consideramos uma indústria "sob pedido", isto é, não existe estoque de produtos;
- (ii) não consideramos o problema de alocação de máquinas, ou seja, o problema do investimento novo em equipamento foi considerado como de um nível superior;
- (iii) os custos foram considerados fixos;
- (iv) os algoritmos utilizados não consideram, em si, uma realimentação de informação.

Para o nosso caso, as simplificações que afetaram mais, tendo em vista os resultados obtidos, foram a (iii) e (iv) - a (iii) porque a função objetivo da alocação de recursos é função dos custos; como consideramos os mesmos fixos, a decisão de alocar recursos é muito pouco sensível à realimentação de informação; - a (iv) porque o algoritmo de sequenciação não leva em conta que existe uma certa probabilidade da sequência prescrita não ser cumprida.

As possíveis extensões desta tese seriam:

(i) uso de algoritmos mais eficientes que levassem em conta uma auto-correção da tomada de decisão, assim por exemplo, o uso de um algoritmo de sequenciação que levasse em conta a probabilidade da sequência não ser atendida;

(ii) implantação de uma sistemática para organização de arquivos que sirvam para manter um sistema de ajuda à tomada de decisão;

(iii) modelização de modelos matemáticos que descrevam o processo de produção.

RDEN	CLASSE	QUANTIDADE	DATA DE ENTREGA	T. DE PROCESSO	DMENS	MATERIA PR
1	4	78	8.643	2.074	12	62.400
2	3	30	20.239	4.857	3	24.000

3	4	84	22.174	5.322	13	67.200						
4	7	31	16.690	4.006	8	24.800						
5	7	42	11.881	2.851	11	33.600						
6	4	76	7.971	1.913	11	60.800						
7	1	4	2	60	3	20.884	5	5.012	6	9	7	48.000

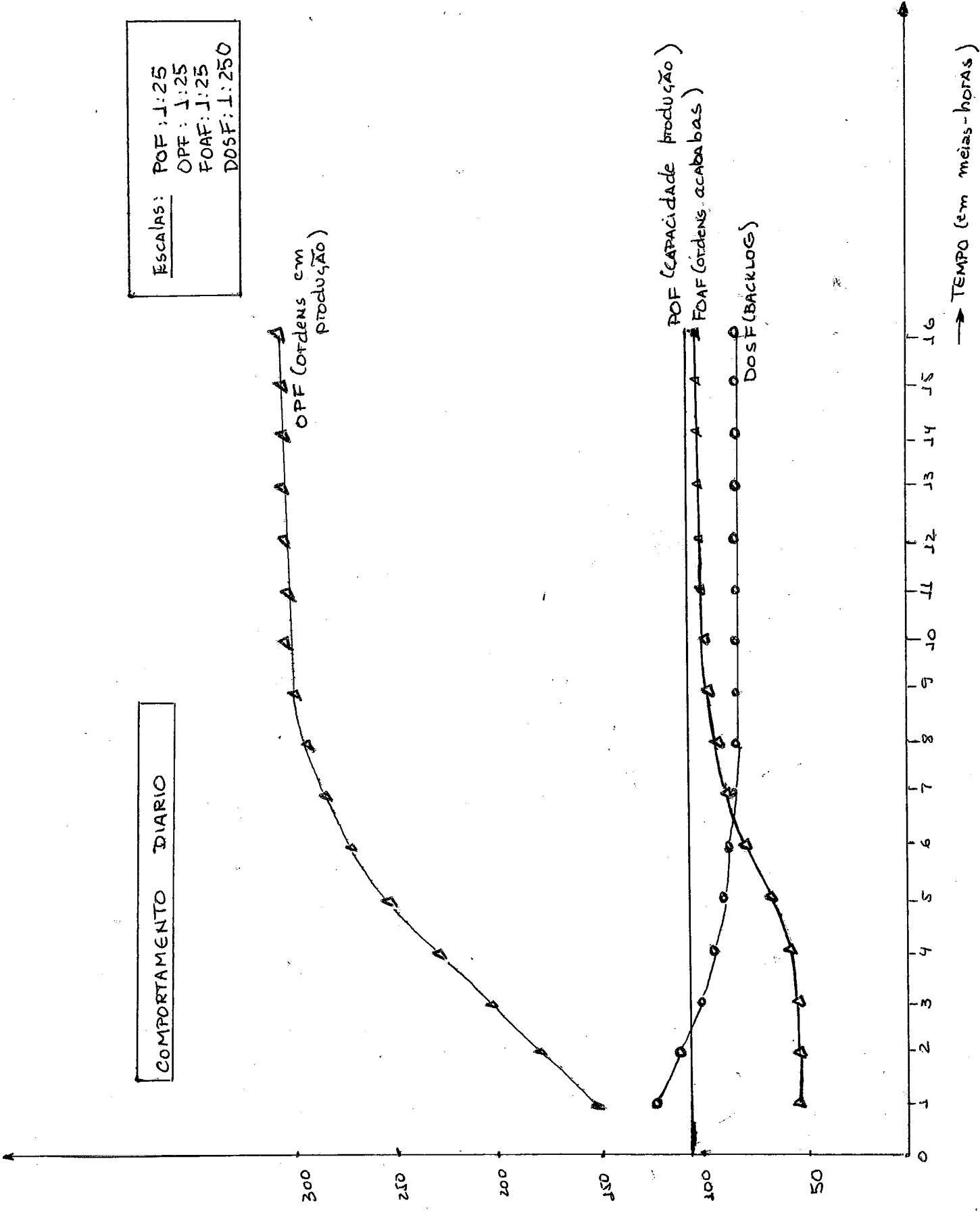
DENACAO DAS TAREFAS

ENS SEQUENCIADAS

6	1	5	4	2	7	3				
8316.934				50.125			150.375		104.031	1203.000
8586.914				50.125			177.328		104.031	1176.047
8856.895				50.125			204.281		104.031	1149.094
9126.875				56.863			231.234		104.031	1122.141
9396.855				66.971			254.818		104.031	1095.188
9666.836				77.078			273.348		104.031	1068.234
9936.816				85.501			286.825		104.031	1041.281
10206.797				91.818			296.090		104.031	1014.328
10476.777				96.240			302.197		104.031	987.375
10746.758				99.188			306.092		104.031	960.422
11016.738				101.083			308.514		104.031	933.469
11286.719				102.268			309.988		104.031	906.516
11556.699				102.992			310.870		104.031	879.563
11826.680				103.426			311.389		104.031	852.609
12096.660				103.682			311.692		104.031	825.656

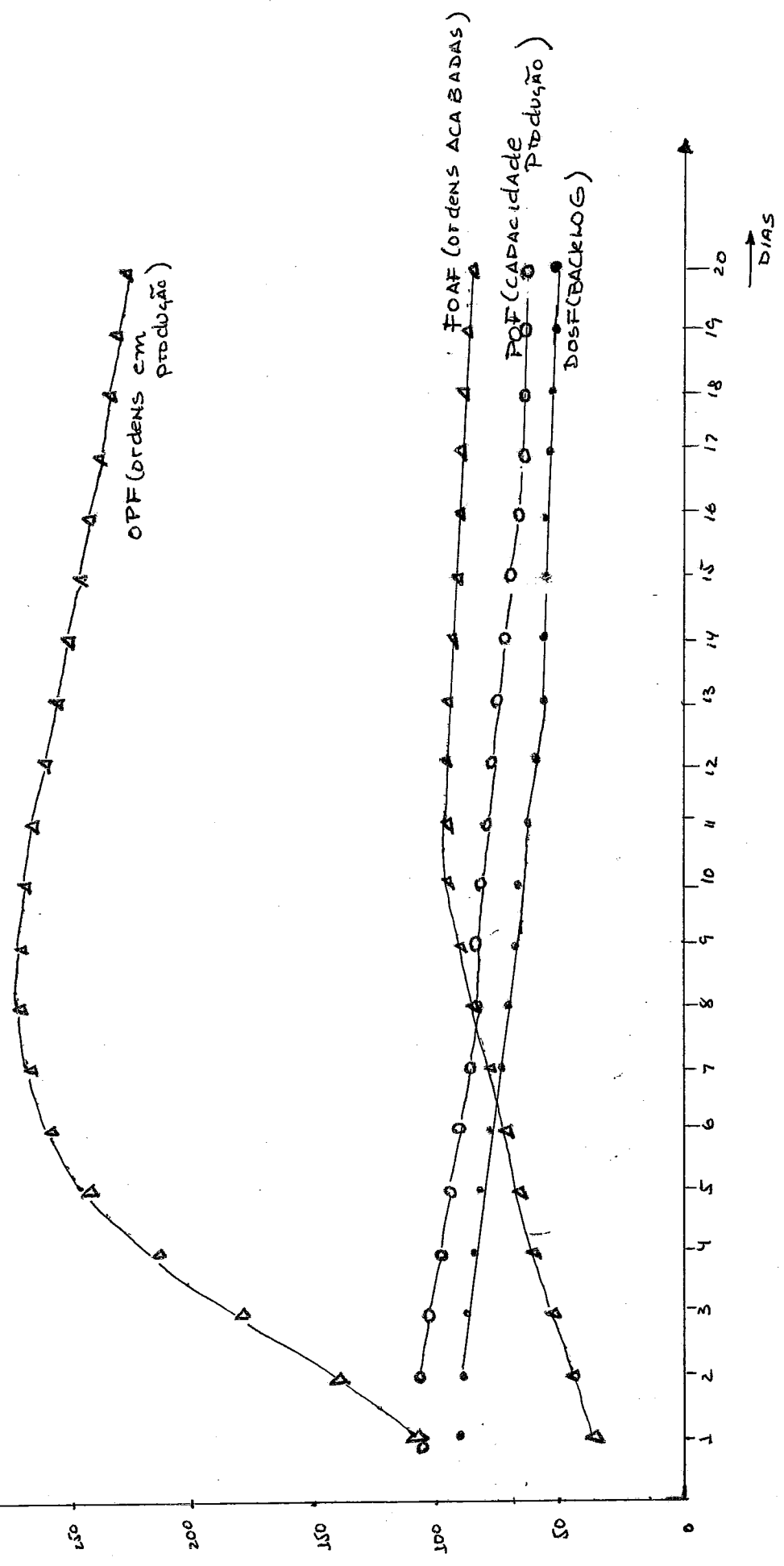
ESCALAS: POF: 1:25  
 OPF: 1:25  
 FOAF: 1:25  
 DOSF: 1:250

COMPORTAMENTO DIARIO



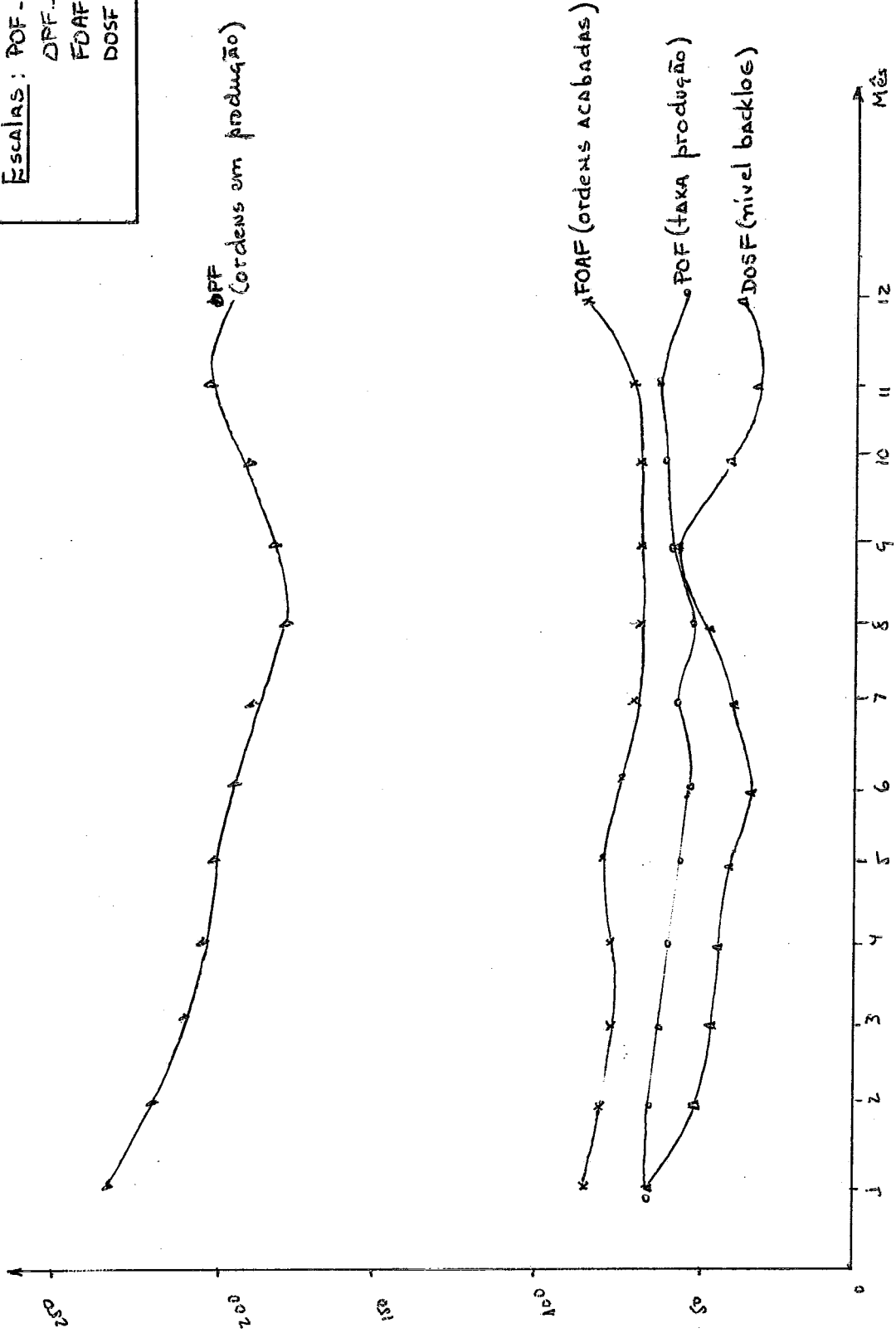
COMPORTAMENTO MENSAL

ESCALAS:  
 POF - 1:25  
 OPF - 1:25  
 FOAF - 1:25  
 DOSF - 1:250



COMPORTAMENTO ANUAL

Escalas: POF - J.25 : 25  
 ΔPF - J.25 : 25  
 FOAF - J.25 : 25  
 DOSF - J.25 : 250





ROTINA DIÁRIA PARA A GESTÃO DA PRODUÇÃO, NUM SISTEMA DE GRANDE  
PORTE, UTILIZANDO SIMULAÇÃO

O sistema diário descrito é uma simulação desenvolvida e utilizada na Hughes Aircraft Co. por Harry W. Steinhoff para a fábrica localizada em El Segundo. (êsse apêndice é, basicamente, o artigo apresentado na referência 5 ).

Para a simulação, as máquinas foram agrupadas em blocos e houve também um agrupamento por tipo de trabalho. O sistema, já implantado, processa cerca de 100-150 ordens por dia, tendo cerca de 3000-4000 ordens em processamento. O objetivo da simulação diária é o de produzir uma ordenação para as tarefas e um relatório sobre a viabilidade de alocação de pedidos especiais.

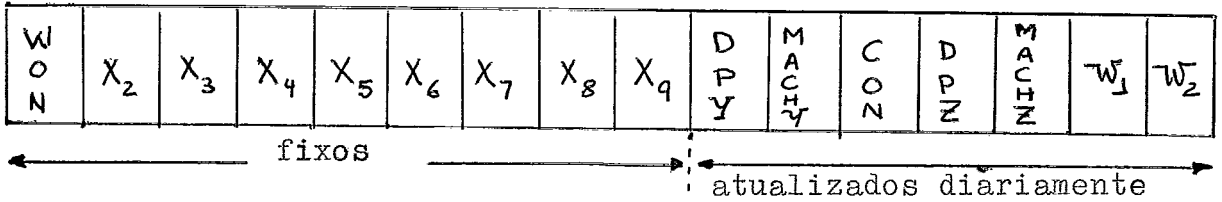
O Sistema semi-automático de El Segundo para o controle e planejamento da produção é baseado principalmente na manutenção diária de dois arquivos de informação:

Arquivo A - arquivo de planejamento e processos padronizados;

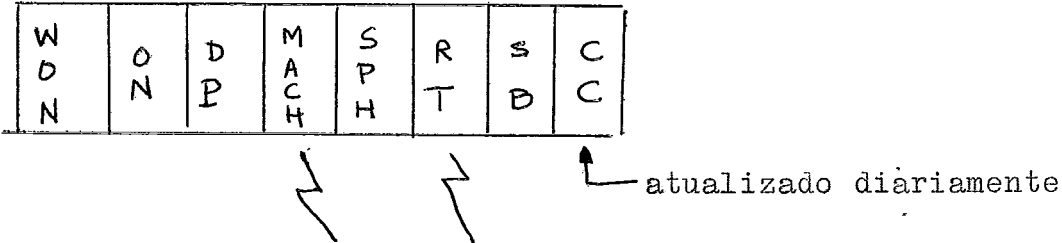
Arquivo B - arquivo de identificação das ordens.

Figura 1 - Arquivo B (fita magnética) - Arquivo de Identificação de ordens.

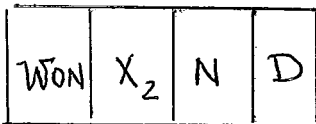
Cabeçalho:



Operações:



Trailer:



onde:

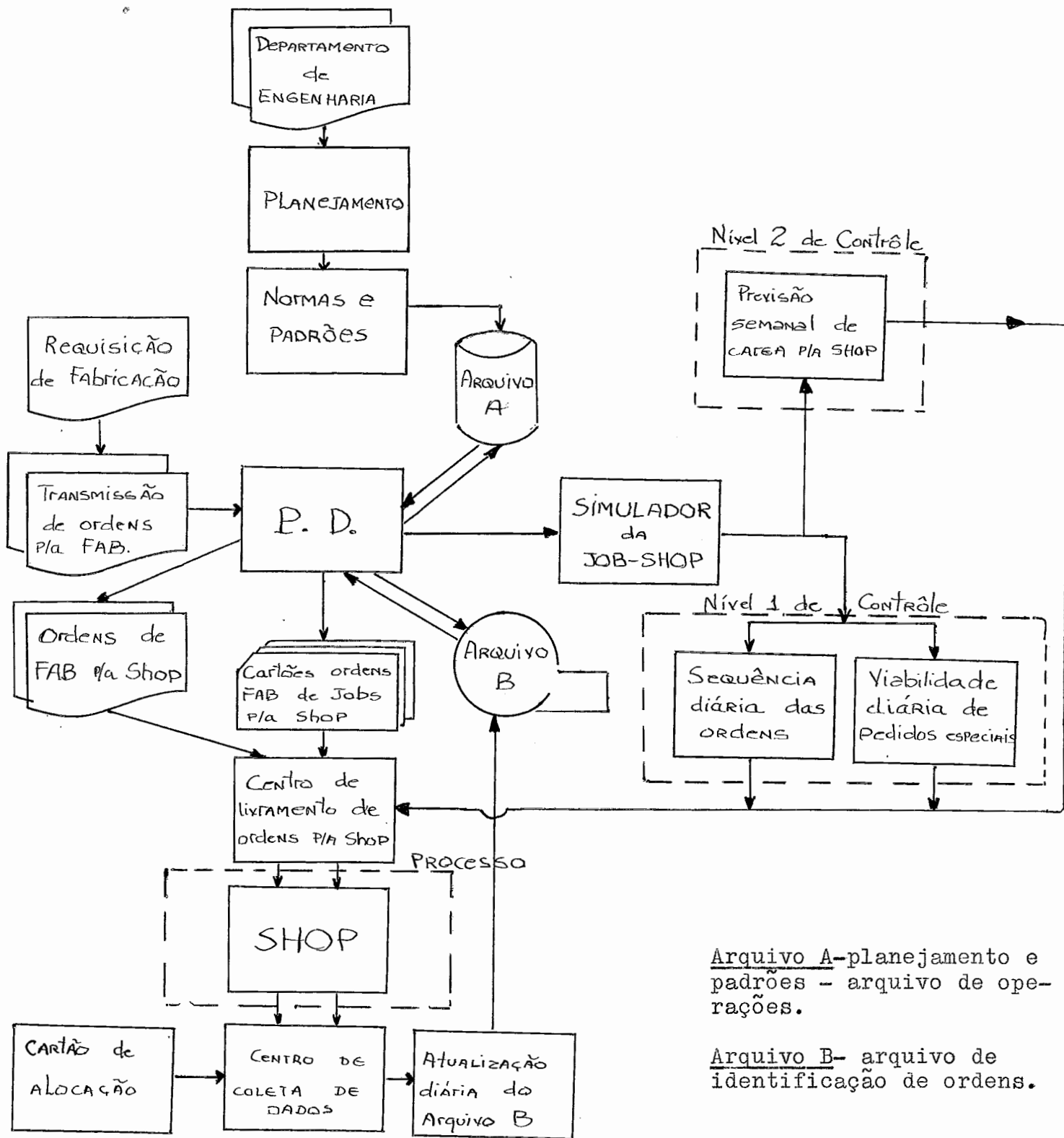
- Won : número da ordem
- X<sub>2</sub> : número da parte
- X<sub>3</sub> : código do projeto
- X<sub>4</sub> : código para identificar se é uma parte
- X<sub>5</sub> : conta
- X<sub>6</sub> : código da conta
- X<sub>7</sub> : tempo de fabricação
- X<sub>8</sub> : tempo de entrega
- X<sub>9</sub> : quantidade do pedido

DPY : código do departamento da locação atual  
MACHY: " " " grupo de máquina " " "  
CON : " " da operação: locação atual  
DPZ : " " do departamento: locação antiga  
MACHZ: código grupo de máquina: locação antiga  
W<sub>1</sub> : " " para pedidos atrasados  
W<sub>2</sub> : " " para pedidos especiais

ON : número da operação  
DP : departamento onde fazer o pedido  
MACH : grupo de máquinas  
SPH : horas padrão para "setup"  
RT : horas padrão para realização  
SB : tempo de "setback"  
CC : código de completado  
N : número de operações que ainda faltam  
D : número de dias na locação atual

---

Figura 2 - Sistema global de El Segundo - desenvolvimento das ordens



Arquivo A-planejamento e padrões - arquivo de operações.

Arquivo B- arquivo de identificação de ordens.

- Arquivo A - este arquivo é mantido num disco IBM-1301 de acesso aleatório, e contém as informações necessárias para o planejamento das ordens. Cada operação é caracterizada por:
  - (i) tempo de "setup";
  - (ii) tempo de realização;
  - (iii) tempo de espera.

Este arquivo pode ser atualizado diariamente, se necessário, introduzindo mudanças no planejamento da produção.

Arquivo B - para cada ordem, este arquivo contém as informações da figura 1. ( ver "lay-out" anexo). O cabeçalho para cada ordem contém: (i) informações fixas identificando o trabalho; (ii) informações variáveis que são atualizadas diariamente através de coleta de dados na "shop". Cada cabeçalho é seguido por uma lista de operações necessárias para completar uma ordem. O arquivo das operações contém o número da operação, o grupo de máquinas correspondente, os tempos, e um código para "acabamento" que é atualizado logo que a operação termine.

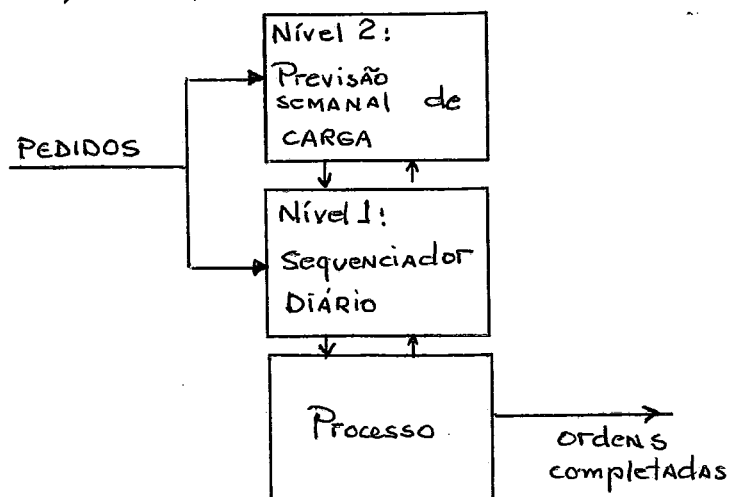
Com a liberação de notas com os pedidos pelo Departamento de Engenharia, há o desenvolvimento detalhado de cada operação segundo a figura 2. No fim de cada dia, uma fita de papel, contendo todos os pedidos que foram lidos durante o dia, é

usada para atualizar a locação dos pedidos já em processamento e codificar as operações completadas no Arquivo B. Semanalmente, tira-se do Arquivo B:

- (i) operações completadas;
- (ii) calcula-se horas de trabalho acumuladas, por grupo de máquina;
- (iii) compara-se horas acumuladas com a carga prevista para se ter uma idéia para uma medida da performance do trabalho.

Conceitualmente, podemos dizer que o controle da produção, na "job-shop" de El Segundo, foi considerado como um problema a dois níveis hierarquizados:

- (i) o nível 2 consiste em equilibrar os níveis de trabalho e de pessoal na "shop", de modo a manter um nível de utilização, máquina-homens, consistente com os objetivos gerenciais;
- (ii) o nível 1 consiste em sequenciar as ordens, no nível operacional, de modo consistente com as seqüências prescritas.



Logo, no controle do fluxo da produção, considerava-se o problema a longo e curto prazo:

(i) Longo prazo : definiu-se o problema a longo prazo como o de estabelecer a carga humana e de trabalho, conhecendo-se a capacidade das máquinas, de modo a manter um desejado nível de utilização. Com esse objetivo, prepara-se, semanalmente, uma previsão de carga para o processo de produção, que estabelece horas de carga de trabalho associadas com todas as ordens do Arquivo B. A carga de trabalho é feita para cada grupo de máquina e se divide em: Carga ativa - já em processamento;

-carga antes de ir para a "shop";

-carga total.

A carga total é usada para o planejamento a mais longo prazo, para prever as necessidades de pessoal, a posição dentro da seqüência, dos níveis totais da "shop" e determinar a relação entre níveis de trabalho e de pessoal.

(ii) curto prazo - é o controle do fluxo de pedidos. Com esse fim, há dois relatórios diários: 1) alocação de ordens e estado atual das ordens; 2) saídas da simulação: seqüência para as ordens e viabilidade dos pedidos especiais.

O programa para a simulação é corrido diariamente, e o processamento geral da informação para este sistema é dado pela Figura 3 anexa. Detalhadamente, com referência à figura 3, temos:

### I - Preparação das ordens

1. Classifica as ordens como ativa ou não liberadas;
2. Aceita ordens não liberadas se estiverem dentro da data de liberação;
3. Calcula o tempo de realização por operação.

### II - Análise das operações

1. Análise das cargas das máquinas;
2. Utilização das máquinas e do pessoal;
3. Cálculo de estatísticas: i) chegadas e saídas;  
ii) tempos de espera.
4. Custos de estoque.

O esquema simplificado do Simulador-Sequenciador encontra-se na Esquema I , anexo.



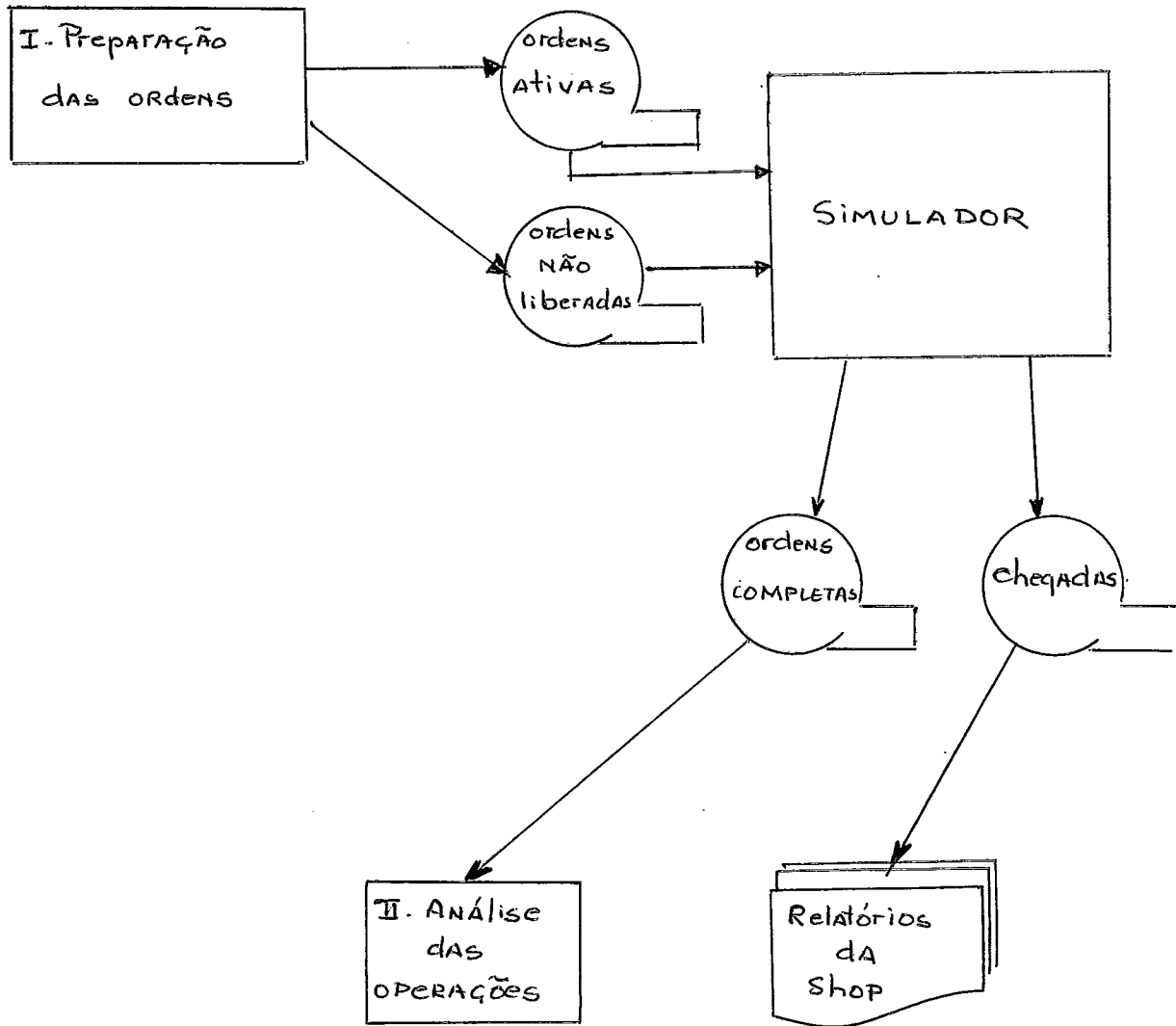


Figura 3 - Processamento geral da informação do sistema de El Segundo.

Esquema I - esquema de funcionamento do sequenciador de El Segundo:INPUT

1. aceita ordens ativas e calcula quantidade de ordens não liberadas.
2. calcula prioridade por ordem.
3. põe a 1ª operação da ordem no Arquivo 1.
4. põe as operações adicionais no Arquivo 2.

PREPARAÇÃO

1. seleciona data de cada ordem do Arquivo 1.
2. converte a operação p/um grupo de máquina
3. coloca os dados do grupo de máquina no Arquivo 3.
4. faz o "Sort" de todas as ordens dentro do grupo de máquina por um código de prioridade.

ESPECIFICAÇÃO

1. especifica ordens do Arquivo 3 para o Arquivo 4.
2. faz o "Sort" de ordens do Arquivo 4 pelo menor tempo de acabamento.

PROCESSAMENTO

1. determina o próximo evento.
2. se a operação está completa, escreve tempo, ordem, operação na fita de completa e remove os dados da operação. Se existe outra operação na fila, move-a para o Arquivo 1 e escreve dados de tempo, ordem e operação na fita de chegadas.
3. aplica as rotinas de preparação e especificação, se aplicáveis, a esta operação e retorna ao primeiro passo.
4. se existe livramento de mais ordens para a "shop", então aplica as rotinas de "Input" e Preparação para estas ordens antes de retornar a 1.
5. se é fim das ordens, retorna todas do Arquivo 4 para o 3. Recalcula a prioridade, se desejado. Recicla o programa, retornando p/o "Input" e liberando ordens não liberadas, se foram sequenciadas.

APÊNDICE IILISTAGENS DOS PROGRAMAS

Em anexo, estamos incluindo as listagens do programa da simulação do sistema global com as subrotinas utilizadas. O programa foi escrito em FORTRAN, e possui 5 (cinco) subrotinas:

(i) Subrotina ALOC e Subrotina PFIF - que resolvem o problema da decisão de alocar recursos através de uma programação linear. As variáveis de entrada são os custos unitários, estoque de matéria prima anterior e demanda anterior; as variáveis de saída são a quantidade de matéria prima e de mão de obra alocadas às tarefas.

(ii) Subrotina SEQ - que resolve o algoritmo de sequenciação de recursos. Suas variáveis de entrada são as ordens com os respectivos tempos de processamento e datas de entrega. Como saída, apresenta um arquivo de ordens sequenciadas.

(iii) Subrotina PSEUD - gera números pseudo-aleatórios.

(iv) Subrotina DESEN - subrotina de elaboração de gráficos(histogramas);

O programa principal chama as subrotinas das decisões amostradas (ALOC e SEQ) , descreve o comportamento diário através das equações de Dinâmica Industrial, realiza as realimentações de informações , além de calcular as modificações para os tempos(necessárias para a realimentação para a subrotina SEQ).

```

N IV C LEVEL 20                                MAIN                                DATE = 72346                                21/49/32

C *****MARI A LIDIA CALDAS DE MCURA *****
C *****
SUBROUTINE ALOC(SENS,NV)
COMMON TEMG(10),TEMD(10),E(10),TEPER(10),IA(10)
COMMON ANHP(320),AMATP(320),FOS(320),DOSF(320),ANMAX(320),ANHB(320
*),DFO(320),POF(320),ANEF(320),OPF(320),OPF1(320),AR1(320),CPF2(320
*),AR2(320),OPF3(320),FOAF(320),IPR(320)
COMMON INBAS(38),A(38,100),TITRE(10)
COMMON BETA(38),PROD(38,38),P(38),NVV,NEQ,IPCINT
COMMON MAOUMI
COMMON IART(38)
COMMON IZ(11),IQZ(11)
COMMON INTEGER OUT,SENS(38)
COMMON DOUBLE PRECISION F(38)
COMMON DOUBLE PRECISION P,BETA,PROD
901 FORMAT(1H1,46X,10A4/1H ,61X,10(1H*)/1H0,5X,'NCMBRE DE VARIABLES',
15X,15,10X,'NOMBRE DE CONTRAINTES',5X,15)
904 FORMAT(1HC,5X,'ARRET ERREUR'/1H ,5X,'NCMBRE D INEGALITES INF',
115,5X,'SUP',15/1H ,5X,'NOMBRE PROVISCIRE DE VARIABLES PHYSIQUES',
215)
905 FORMAT(1H0,5X,'NCMBRE DE VARIABLES D ECART HCRS BASE',15,10X,'DE',
1' BASE',15/1H1)
906 FORMAT(1H0,5X,'ARRET ERREUR PROGRAMME TRCP IMPORTANT'/1H0,5X,'NCMB
IRE TOTAL DE VARIABLES',17)
907 FORMAT(1H0,'MINIMISATION',12)
908 FORMAT(1H0,'MAXIMISATION',12)
909 FORMAT(1H0,5X,'ARRET ERREUR PROGRAMME TRCP IMPORTANT'/6X,
1'VARIABLES PHYSIQUES ',15,5X,'CONTRAINTES ',15)
911 FORMAT(1H ,10F10.4)
IPPOINT=1
IN=5
OUT=6
IF(NV-100)100,100,101
100 IF(NEQ-37)102,102,101
101 WRITE(OUT,909)NV,NEQ
GO TO 35
102 IP=1
WRITE(OUT,901)TITRE,NV,NEQ
IF(MAOUMI)19,35,20
19 WRITE(OUT,907)MAOUMI
GO TO 21
20 WRITE(OUT,908)MAOUMI
21 ZM=-1.0E+13*FLOAT(MAOUMI)
F(1)=-1.
BETA(1)=0.03
NBREP=0
NBREN=0
NVPRO=NV
NEQ1=NEQ+1
DO 10 I=2,NEQ1
IF(BETA(I))6,8,8
6 DO 7 J=1,NV
7 A(I,J)=-A(I,J)
BETA(I)=-BETA(I)
SENS(I)=-SENS(I)
8 IF(SENS(I))9,10,9
9 A(I,NV+1)=-SENS(I)
NVPRO=NVPRO+1

```



N	IV	G	LEVEL	20	PFI	DATE = 72346	21/49/32
				SUBROUTINE PFI(F)			
				COMMON TEMG(10), TEMD(10), E(10), TEPER(10), IA(10)			
				COMMON ANHP(320), AMATP(320), FOS(320), DCSF(320), ANMAX(320), ANFB(320			
				*), DFO(320), POF(320), ANEF(320), OPF(320), OPF1(320), AR1(320), CPF2(320			
				*), AR2(320), OPF3(320), FOAF(320), IPR(320)			
				COMMON INDBAS(38), A(38,100), TITRE(10)			
				COMMON BETA(38), MPROD(38,38), P(38), NV, NEQ, IPCINT			
				COMMON MAOUMI			
				COMMON IART(38)			
				COMMON IZ(11), IQZ(11)			
				DOUBLE PRECISION ZMAN(38), F(38), D(100), DMIN			
1				DOUBLE PRECISION ZMAMI			
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
				DOUBLE PRECISION P, BETA, MPROD			
				DOUBLE PRECISION R, RMIN, EPS			
				INTEGER OUT			
				EPS=1.0D-8			
				J1=NEQ+1			
				J2=NV+NEQ			
				ZMAMI=MAOUMI			
				ITER=0			
				DO 10 I=1,38			
				DO 10 J=1,38			
			10	MPROD(I,J)=0			
				IN=5			
				OUT=6			
				INDBAS(I)=0			
				DO 50 I=1,J1			
				49 MPROD(I,I)=1			
				IF(I-NEQ)48,48,50			
				48 INDBAS(I+1)=NV+I			
				50 CONTINUE			
				WRITE(OUT,908)(INDBAS(I),I=1,J1)			
			150	DO 51 J=1,J1			
				ZMAN(J)=0.			
				DO 51 K=1,J1			
			51	ZMAN(J)=ZMAN(J)+F(K)*MPROD(K,J)			
				ITER=ITER+1			
				DO 52 J=1,J2			
				D(J)=0.			
				DO 52 K=1,J1			
			52	D(J)=D(J)+ZMAN(K)*A(K,J)			
				IENTRE=0			
				DMIN = 0.0D0			
				DO 60 J=1,J2			
1				DO 55 I=2,J1			
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
				IF(J-IART(I))54,60,54			
				54 IF(J-INDBAS(I))54,60,54			
				55 CONTINUE			
				56 IF((D(J)-DMIN)*ZMAMI)57,60,60			
				57 IENTRE=J			
				DMIN=D(J)			
				60 CONTINUE			
				IF(IENTRE)103,103,62			
				62 DO 63 I=1,J1			
				P(I)=0			
				DO 63 J=1,J1			
			63	P(I)=P(I)+MPROD(I,J)*A(J,IENTRE)			
				RMIN=1.0D20			



N	IV	C	LEVEL	20	PFI	DATE = 72346	21/49/32
				ISORT=0			
				DO 70 I=2,J1			
				IF(BETA(I))66,66,64			
				66 BETA(I)=EPS			
				WRITE(OUT,910)I			
				GO TO 70			
				64 IF(P(I))164,70,164			
				164 R=BETA(I)/P(I)			
				IF(R-RMIN)65,65,70			
				65 IF(R)70,70,165			
				165 ISORT=INDBAS(I)			
				RMIN=R			
				IO=I			
				70 CONTINUE			
				IF(ISORT)71,71,72			
				71 WRITE(OUT,904)			
				WRITE(OUT,907)ITER			
				RETURN			
				72 INDBAS(IO)=IENTRE			
				F(IO)=0.			
				R=-1./P(IO)			
				P(IO)=-1.			
				DO 73 I=1,J1			
				73 P(I)=P(I)*R			
				DO 76 I=1,J1			
				IF(I-IO)74,76,74			
				74 DO 75 J=1,J1			
				75 MPROD(I,J)=MPROD(I,J)+P(I)*MPROD(IO,J)			
				76 CONTINUE			
				DO 77 J=1,J1			
				77 MPROD(IO,J)=MPROD(IO,J)*P(IO)			
				100 DO 102 I=1,J1			
				IF(I-IO)101,102,101			
				101 BETA(I)=BETA(I)+P(I)*BETA(IO)			
				102 CONTINUE			
				BETA(IO)=BETA(IO)*P(IO)			
				WRITE(OUT,909)(INDBAS(I),I=1,J1)			
				DO 200 I=2,J1			
				IF(BETA(I))200,200,200			
				250 WRITE(OUT,910)I			
				BETA(I)=EPS			
				200 CONTINUE			
				GO TO 150			
				103 BETA(I)=-BETA(I)			
				WRITE(OUT,905)BETA(I),(INDBAS(J),BETA(J),J=2,J1)			
				WRITE(OUT,906)(D(J),J=1,J2)			
				WRITE(OUT,907)ITER			
				RETURN			
				904 FORMAT(1H0,16HSOLUTION INFINIE)			
				905 FORMAT(1H0,5X,'OPTIMUM',F20.10/1H0,5X,'SOLUTION',/,1H0,5('VARIABLE			
				1 VALEUR '),(/1H0,2X,I3,3X,F10.4,2X,I3,3X,F10.4,2X,I3,3X,F10.4,2X			
				2,I3,F10.4,2X,I3,3X,F10.4))			
				906 FORMAT(1H0,5X,15HCOUTS MARGINAUX,10(/1H0,5F10.4))			
				907 FORMAT(1H0,5X,'NOMBRE D ITERATIONS =',I5)			
				908 FORMAT(1H0,5X,'VECTEUR INITIAL'/4(/1H ,10I10))			
				909 FORMAT(1H ,5X,'VECTEUR ACTUEL'/4(/1H ,10I10))			
				910 FORMAT(1H0,' DEGENERESCEANCE', ' I= ',I5)			
				END			



N	IV	C	LEVEL	20	DESEN	DATE =	72346	21/49/32
					SUBROUTINE DESEN(AA,MAX,II,X,II,Z)			
					COMMON TEMG(10),TEMD(10),E(10),TEPER(10),IA(10)			
					COMMON ANHP(320),AMATP(320),FDS(320),DCSF(320),ANMAX(320),ANHB(320			
					*),DFO(320),POF(320),ANEF(320),OPF(320),OPF1(320),ARI(320),OPF2(320			
					*),AR2(320),OPF3(320),FOAF(320),IPR(320)			
					COMMON INBAS(38),A(38,100),TITRE(10)			
					COMMON BETA(38),PROD(38,38),P(38),NVV,NEQ,IPGINT			
					COMMON MAGUMI			
					COMMON IART(38)			
					COMMON IZ(11),IQZ(11)			
					DIMENSION AA(MAX),II(121)			
1					DATA IAST/1H*/			
					DO 10 I=1,121			
					10 II(K)=IAST			
					101 IOUT=6			
					WRITE(IOUT,101)II(X,II(Z))			
					101 FORMAT(///,10X,'GRAFICO ',A4,1X,A3,///)			
					J=1			
					AIMAX=AA(I)			
					DO 2 I=2,MAX			
					IF(AA(I)-AIMAX)1,1,2			
					2 AIMAX=AA(I)			
					J=1			
					1 CONTINUE			
					L=1			
					AIMIN=AA(I)			
					DO 3 I=2,MAX			
					IF(AA(I)-AIMIN)4,3,3			
					4 AIMIN=AA(I)			
					L=1			
					3 CONTINUE			
					D1=AA(J)-AA(L)			
					D2=120./D1			
					DO 6 I=1,MAX			
					N=D2*(AA(I)-AA(L))+1.			
					WRITE(IOUT,100)I,(II(K),K=1,N)			
					6 CONTINUE			
					100 FORMAT(1X,12,2X,1H1,121A1)			
					RETURN			
					END			

N	IV	C	LEVEL	20	DESEN	DATE =	72346	21/49/32
					SUBROUTINE DESEN(AA,MAX,II,X,II,Z)			
					COMMON TEMG(10),TEMD(10),E(10),TEPER(10),IA(10)			
					COMMON ANHP(320),AMATP(320),FDS(320),DCSF(320),ANMAX(320),ANHB(320			
					*),DFO(320),POF(320),ANEF(320),OPF(320),OPF1(320),ARI(320),OPF2(320			
					*),AR2(320),OPF3(320),FOAF(320),IPR(320)			
					COMMON INBAS(38),A(38,100),TITRE(10)			
					COMMON BETA(38),PROD(38,38),P(38),NVV,NEQ,IPGINT			
					COMMON MAGUMI			
					COMMON IART(38)			
					COMMON IZ(11),IQZ(11)			
					DIMENSION AA(MAX),II(121)			
1					DATA IAST/1H*/			
					DO 10 I=1,121			
					10 II(K)=IAST			
					101 IOUT=6			
					WRITE(IOUT,101)II(X,II(Z))			
					101 FORMAT(///,10X,'GRAFICO ',A4,1X,A3,///)			
					J=1			
					AIMAX=AA(I)			
					DO 2 I=2,MAX			
					IF(AA(I)-AIMAX)1,1,2			
					2 AIMAX=AA(I)			
					J=1			
					1 CONTINUE			
					L=1			
					AIMIN=AA(I)			
					DO 3 I=2,MAX			
					IF(AA(I)-AIMIN)4,3,3			
					4 AIMIN=AA(I)			
					L=1			
					3 CONTINUE			
					D1=AA(J)-AA(L)			
					D2=120./D1			
					DO 6 I=1,MAX			
					N=D2*(AA(I)-AA(L))+1.			
					WRITE(IOUT,100)I,(II(K),K=1,N)			
					6 CONTINUE			
					100 FORMAT(1X,12,2X,1H1,121A1)			
					RETURN			
					END			



N IV C LEVEL 20		SEQ		DATE = 72346		21/49/32	
47 IF(TEMG(I)-DE)43,43,42							
42 IF(K)45,45,48							
45 K=K+1							
JOTA1=I							
GO TO 43							
48 JOTA2=I							
K=K+1							
50 CONTINUE							
C SATISFACAO TEMPOS DE ENTREGA							
KK=C							
DO 53 I=1,N							
1 IP(TEPER(I)-TEMG(I))51,51,53							
51 KK=KK+1							
53 CONTINUE							
IF(KK)60,60,55							
C ORDENACAO TEMPOS DE PERMANENCIA							
55 IF(TEMD(JOTA1)-TEMD(JOTA2))65,65,70							
70 TROC=E(JOTA1)							
E(JOTA1)=E(N)							
E(N)=TROC							
TROC=TEMG(JOTA1)							
TEMG(JOTA1)=TEMG(N)							
TEMG(N)=TROC							
TROC=TEMD(JOTA1)							
TEMD(JOTA1)=TEMD(N)							
TEMD(N)=TROC							
K=JOTA1							
GO TO 68							
65 K=JOTA2							
TROC=E(JOTA2)							
E(JOTA2)=E(N)							
E(N)=TROC							
TROC=TEMG(JOTA2)							
TEMG(JOTA2)=TEMG(N)							
TEMG(N)=TROC							
TROC=TEMD(JOTA2)							
TEMD(JOTA2)=TEMD(N)							
TEMD(N)=TROC							
68 DE=DE-TEMD(K)							
N=N-1							
IF(MM-(N-1))20,60,60							
60 CONTINUE							
C SEQUENCIA OTIMA							
C *****							
1 SP EM=0							
DE=C							
DO 72 I=1,L							
DE=DE+TEMD(I)							
72 SP EM=SP EM+TEPER(I)							
PERM=SP EM/FLOAT(N)							
ESTM=(PERM*FLOAT(N))/DE							
C *****							
DO 80 I=1,L							
IA(I)=E(I)							
80 CONTINUE							
WRITE(6,6)							
6 FORMAT(25H ORDENACAO DAS TAREFAS,/) )							
WRITE(6,335)							







BIBLIOGRAFIA

1. ACKHOFF, R.L. SASIENI, M.W.

"Fundamentals of Operations Research"

John Wiley and Sons(1969)"

2. ANSOFF, H.I. & SLEVIN, D.P.

"An appreciation of Industrial Dynamics"

Magt. Science, Vol. 14, n<sup>o</sup> 7, March 1968.

3. BONINI, Charles P.

"Simulation of Information and Decision

Systems" . Englewood Cliffs: Prentice-Hall,

1963.

4. BYRNE, MULLALY & ROTHERY

"The art of systems analysis"

Prentice-Hall, Inc. Edition (1971)

5. BUFFA, Elwood S.

"Readings in Production and Operations

Management" - John Wiley & Sons, (1966)

6. CONWAY, MAXWELL & MILLER

" Theory of Scheduling"

Addison-Wesley Publishing Co., (1967)

7. FLEURY, P.F. da Silva e Souza

"Análise do Comportamento de Algoritmos  
para a Sequenciação"

Tese - M.Sc. - COPPE - 1971

8. FORRESTER, Jay W.

"Industrial Dynamics"

The M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1961

9. GIÇLIO, R.J. & WAGNER, H.

"Approximate Solutions to the three-machine  
scheduling problem"

Op. Research, Vol.12, nº 2 - March 1964

10. JARMAIN, W. Edwin

"Problems in Industrial Dynamics"

The M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1963

11. NAYLOR, BALINTFY & CHU

"Técnicas de Simulação em Computadores"

Universidade de S. Paulo (1971)

12. MAGEE, J.F.

"Production Planning and Inventory

Control" McGraw Hill Book Co. Inc. (1958)